

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tomislav Tirić**

**Zagreb, 2017.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Mentor:**  
**Doc. dr. sc. Ivan Stojanović**

**Student:**  
**Tomislav Tirić**

**Zagreb, 2017.**

## **Izjava**

Izjavljujem da sam diplomski rad na temu „Zaštita od korozije odobalnih konstrukcija“ izradio samostalno uz potrebne konzultacije, savjete i uporabu navedene literature.

Tomislav Tirić

## **Zahvala**

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na podršci i razumijevanju iskazanom tijekom mog studiranja.

Posebno se zahvaljujem svojem mentoru doc. dr. sc. Ivanu Stojanoviću i dipl. ing. Nikici Brusiću na savjetima i velikoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se svim djelatnicima u Laboratoriju za zaštitu materijala na pomoći prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se tvrtki INAgip na pomoći prilikom odabira teme i na premazima potrebnim za izvođenje eksperimentalnog dijela rada.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Tomislav Tirić**

Mat. br.: 0035184016

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **ZAŠTITA OD KOROZIJE ODOBALNIH KONSTRUKCIJA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **CORROSION PROTECTION OF OFFSHORE STRUCTURES**

Opis zadatka:

Morsko okruženje je među najagresivnijim sredinama u kojima se nalaze i eksploatiraju različite konstrukcije i postrojenja. Korozijsko oštećivanje takvih konstrukcija nastoji se usporiti ili spriječiti postupcima zaštite materijala, a posebno zaštitnim prevlakama.

U radu je potrebno izučiti literaturu, obraditi i na prikladan način prikazati vrste korozijskih procesa i metoda zaštite odobalnih konstrukcija. Detaljnije obraditi sustave prevlaka za zaštitu od korozijske konstrukcija na moru, prikazati zahtjeve koji se postavljaju pred zaštitne prevlake ovisno o dijelu platforme. Dati prikaz sustava zaštite od korozijske na primjeru jedne platforme u Jadranskom moru.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je nanijeti različite vrste prevlaka na uzorke od niskougličnog konstrukcijskog čelika. Provesti usporedna fizikalna ispitivanja prevlaka, ispitivanja korozijske otpornosti dugotrajnim uranjanjem u morsku vodu, te ispitivanja u slanoj komori sukladno normi HRN EN ISO 9227. Po završetku usporediti rezultate i dati ocjenu svojstva zaštite.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

17. studenog 2016.

19. siječnja 2017.

25., 26. i 27. siječnja 2017.

Zadatak zadao:

v. d. predsjednika Povjerenstva:

Doc. dr. sc. Ivan Stojanović

Prof. dr. sc. Biserka Runje

**Sadržaj:**

Sadržaj:.....	I
Popis slika .....	IV
Popis tablica .....	V
Popis oznaka.....	VI
Sažetak .....	VII
1. Uvod.....	1
2. Klasifikacija korozijskih procesa .....	3
2.1. Mehanizmi korozijskih procesa .....	3
2.1.1. Kemijska korozija .....	3
2.1.2. Elektrokemijska korozija.....	4
2.2. Pojavni korozijski oblici .....	4
2.2.1. Opća korozija .....	4
2.2.2. Lokalna korozija.....	5
2.2.2.1. Rupičasta korozija.....	5
2.2.2.2. Podpovršinska korozija .....	6
2.2.2.3. Kontaktna korozija.....	6
2.2.2.4. Napetosna korozija.....	7
2.2.2.5. Interkristalna korozija .....	7
3. Odobalna postrojenja .....	8
4. Morski okoliš .....	10
4.1. Morska Voda .....	10
4.1.1. Temperatura .....	12
4.1.2. Otopljeni plinovi .....	12
4.1.3. Ugljikov dioksid .....	12
4.1.4. Električna vodljivost .....	13
4.1.5. pH morske vode .....	13
4.1.6. Obraštanje.....	14
4.2. Korozija kod uronjenih konstrukcija .....	14
4.2.1. Temperatura .....	14
4.2.2. Dubina .....	15
4.2.3. Brzina strujanja .....	15

4.3.	Atmosfera morskog okoliša.....	16
4.3.1.	Uronjena zona .....	18
4.3.2.	Zona zapljuskivanja.....	18
4.3.3.	Atmosferska zona .....	20
5.	Odabir odgovarajućeg sustava zaštite .....	21
5.1.	Parametri za odabir odgovarajućeg premaza .....	21
5.1.1.	Korozivnost okoliša.....	21
5.1.2.	Površina koju treba zaštititi .....	23
5.1.3.	Tražena trajnost sustava premaza .....	23
5.1.4.	Planiranje postupka nanošenja boje .....	23
5.2.	Kontrola korozije .....	24
5.2.1.	Premazi .....	25
5.2.2.	Odabir materijala .....	26
5.2.3.	Katodna zaštita .....	26
5.2.4.	Kontrola okoliša .....	26
5.2.5.	Konstruiranje .....	27
6.	Katodna zaštita odobalnih postrojenja .....	29
6.1.	Katodna zaštita pomoću žrtvovane anode .....	30
6.2.	Katodna zaštita pomoću vanjskog izvora struje .....	31
6.3.	Zaštita kod odobalnih postrojenja.....	32
7.	Zaštita prevlakama .....	35
7.1.	Organske prevlake .....	37
7.1.1.	Organski premazi .....	37
7.1.1.1.	Komponente premaza .....	38
7.1.1.2.	Sustav premaza .....	39
7.1.2.	Plastifikacija .....	40
7.1.3.	Gumiranje.....	42
7.1.4.	Premazi u zoni zapljuskivanja.....	43
8.	Eksperimentalni dio .....	45
8.1.	Cilj i svrha ispitivanja.....	45
8.2.	Opis ispitivanih prevlaka .....	46
8.2.1.	Prevlake od proizvođača „HEMPEL“ .....	46
8.2.2.	Prevlake od proizvođača „STOPAQ“ .....	47

8.2.3.	Prevlake od proizvođača „BELZONA“ .....	48
8.2.4.	Prevlake od proizvođača „SPENCERCOATINGS“ .....	49
8.3.	Priprema uzoraka .....	49
8.4.	Ispitivanje prionjivosti .....	54
8.4.1.	Ispitivanja prionjivosti Cross-cut metodom .....	54
8.4.2.	Ispitivanje prionjivosti Pull-off metodom .....	55
8.4.3.	Ispitivanje prionjivosti X –cut metodom.....	55
8.5.	Ispitivanje uzoraka cikličkim uranjanjem.....	56
8.6.	Ispitivanje uzoraka u vodenoj otopini 3,5 % NaCl.....	61
8.7.	Ispitivanje uzoraka u slanoj komori.....	64
8.8.	Analiza rezultata ispitivanja .....	69
9.	Zaključak.....	70
Literatura	.....	71



## Popis slika

Slika 1. Korozijsko oštećenje na platformi Ivana K [2] .....	2
Slika 2. Korozija u zoni zapljuskivanja kod platforme Ivana K [2] .....	2
Slika 3. Primjer opće ravnomjerne korozije na platformi Ida C [2] .....	5
Slika 4. Kontaktna korozija na odobalnom postrojenju [5] .....	6
Slika 5. Napetosa korozija na cijevi [6] .....	7
Slika 6. Zone u morskom okolišu [8] .....	11
Slika 7. Prikaz zona utjecaja i promjene u brzini korozije [9] .....	17
Slika 8. Utjecaj koncentracije NaCl-a na brzinu korozije željeza pri sobnoj temperaturi [8]..	18
Slika 9. Korozija površine čeličnog lima na različitim udaljenostima od zapljuskivanja [8] ..	20
Slika 10. Prikaz kako konstruiranje može utjecati na koroziju [8] .....	28
Slika 11. Metode zaštite u morskoj atmosferi [8] .....	28
Slika 12. Prikaz katodne zaštite žrtvovanom anodom [15] .....	30
Slika 13. Katodna zaštita s vanjskim izvorom struje i inertnom anodom [13] .....	32
Slika 14. Više slojni sustav premaza [18] .....	40
Slika 15. Stopač sustav zaštite trakama podvodnog dijela zone zapljuskivanja [20] .....	47
Slika 16. 1. grupa uzoraka (očišćeni i odmašćeni) .....	50
Slika 17. 2. grupa uzoraka (uronjeni u vodenu otopinu 3,5 NaCl i 30 minuta sušeni na okolišnoj temperaturi) .....	50
Slika 18. Nanošenje premaza od Belzone na pločice .....	51
Slika 19. Mjerenje debljine mokrog filma češljem .....	52
Slika 20. Mjerenje debljine suhog filma uređajem QuaNix 1500 .....	52
Slika 21. Oprema za Pull-off ispitivanje, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB .....	55
Slika 22. Ispitivanje cikličkim uranjanjem .....	56
Slika 23. Ispitivanje u vodenoj otopini 3,5 % NaCl .....	61
Slika 24. Slana komora Ascott model S450, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB .....	64

## Popis tablica

Tablica 1. Klasifikacija tipičnih zona morskog okoliša [7].....	9
Tablica 2. Prosječne vrijednost električnog otpora vode [8].....	13
Tablica 3. Kategorije atmosferske korozivnosti prema standardu ISO 12944 [9] .....	22
Tablica 4. Kategorije vode i tla u skladu sa standardom ISO 12944 [12].....	22
Tablica 5. Vremenska kategorizacija trajnosti prema HRN EN ISO 12944 [12] .....	23
Tablica 6. Usporedba sustava za katodnu zaštitu [14] .....	34
Tablica 7. Sustav 8 koji se koristi u INA-i za zaštitu odobalnih konstrukcija [2] .....	46
Tablica 8. Tehnički podatci za premaz Belzona 5831 [21].....	48
Tablica 9. Tehnički podatci prevlake Acothane Mastic Standard Grade [22] .....	49
Tablica 10. Prosječne debljine suhog filma .....	53
Tablica 11. Razvrstavanje rezultata testa prionjivosti [23] .....	54
Tablica 12. Rezultati ispitivanja uranjanjem na prevlake od proizvođača STOPAQ-a .....	57
Tablica 13. Rezultati ispitivanja uranjanjem na prevlake od Belzona-e .....	58
Tablica 14. Rezultati ispitivanja uranjanjem na prevlake od proizvođača Hempel .....	59
Tablica 15. Rezultati ispitivanja uranjanjem na prevlake od Spencercoating-a.....	60
Tablica 16. Rezultati ispitivanja uzoraka u 3,5 % NaCl – STOPAQ.....	62
Tablica 17. Rezultati ispitivanja uzoraka u 3,5 % NaCl – Belzona .....	62
Tablica 18. Rezultati ispitivanja uzoraka u 3,5 % NaCl - Hempel .....	63
Tablica 19. Rezultati ispitivanja uzoraka u 3,5 % NaCl - Spencercoating .....	63
Tablica 20. Parametri ispitivanja u slanoj komori.....	64
Tablica 21. Rezultati ispitivanja u slanoj komori na prevlake od STOPAQ-a.....	65
Tablica 22. Rezultati ispitivanja u slanoj komori na prevlake od Belzona-e .....	66
Tablica 23. Rezultati ispitivanja u slanoj komori na prevlake od Hempel-a .....	67
Tablica 24. Rezultati ispitivanja u slanoj komori na prevlake od Spencercoating-a .....	68
Tablica 25. Vrijednost korozije po urezu .....	69

## Popis oznaka

Oznaka	Jedinica	Opis
$l$	m	duljina
$v_{corr}$	mm/god.	brzina korozije
$v$	°C	temperatura
$pH$	-	kiselost
$R$	$\Omega$	električni otpor
$v$	m/s	brzina
$p$	Pa	tlak
$m$	kg	masa
$U$	V	napon
$I$	A	jakost struje
$j$	A/m <sup>2</sup>	gustoća struje
$\sigma$	Pa	vlačno smicanje
$V$	m <sup>3</sup>	volumen
$G$	$\mu\text{S/cm}$	električna vodljivost

## Sažetak

Diplomski rad sastoji se od teorijskog dijela u kojemu je obrađen utjecaj korozije na različite dijelove odobalnih konstrukcija, te eksperimentalnog dijela u kojemu se kroz niz laboratorijskih ispitivanja uspoređeni različiti premazi i utjecaj različitih stanja površine na pojavu i napredak korozije.

Teorijski dio prikazuje metode zaštite od korozije, opširnije prikazuje čimbenike koji utječu na pojavu korozije kod odobalnih konstrukcija, opisane su različite zone korozije kod odobalnih konstrukcija, te su opisane metode zaštite pojedinih zona.

U eksperimentalnom dijelu ispitana su svojstva i ponašanje premaza na čeličnim uzorcima kroz niz ubrzanih ispitivanja (slana komora, uranjanje). Ispitivanja su provedena u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.

## 1. Uvod

Korozijska aktivnost s perspektive okoliša je prirodna pojava koja je potrebna za održavanje prirodne ravnoteže. Zaštita od korozije je područje inženjerstva koja se trudi održati materijale u najstabilnijem (ne korodiranom) obliku. S inženjerske perspektive korozija se smatra kao destruktivni napad prirode na metal. Uništavanje metala se odnosi na prirodne procese, kao što su kemijska i elektrokemijska korozija. Kod značajnog gubitka materijala uslijed korozije, nastaju gubici u produktivnosti i povećavaju se troškovi održavanja, popravka, zamjene i obnove oštećenog dijela. U nekim slučajevima korozija dovodi do gubitaka života i ozljeda koje su povezane sa lošim projektiranjem i nedovoljnim održavanjem strojarских konstrukcija.

Korozija je prisutna u svakom aspektu modernog života, a pojavljuje se oko svake osobe, to je proces koji se odvija 24 sata dnevno. Utjecaj djelovanja korozije je raspoređen u tri pravca, a to su ekonomski, sigurnosni i pravac zaštite okoliša.

Ekonomski gubici podrazumijevaju gubitke materijala korištenog u spremnicima, procesnoj opremi, cjevovodima, platformama, mostovima i mnogim drugim konstrukcijama. Ekonomski gubici mogu biti direktni ili indirektni. Direktni gubici uključuju npr. troškove zamjene korodiranog dijela, opreme i troškove prevlačenja, održavanja i postavljanja katodne zaštite, troškovi rada, te troškovi koji su povezani s korištenjem skupih korozijski otpornih materijala. Indirektni troškovi korozije se teško mogu točno prikazati, međutim odnose se na gubitke nastale zbog zastoja, gubitka materijala, havarija i sl. [1].

Morsko okruženje je jedno od najagresivnijih sredina u kojima se nalaze i eksploatiraju raznovrsne konstrukcije i postrojenja, a posebno u području zapljuskivanja mora, gdje su korozijski procesi najintenzivniji. Kad je u pitanju zaštita takvih konstrukcija, npr. naftni terminali, pristaništa, marine i odobalne konstrukcije, korozijsko oštećivanje materijala nastoji se usporiti ili spriječiti postupcima zaštite materijala.

U ovom radu su obrađene vrste korozijskih procesa i metode zaštite odobalnih postrojenja. Opisani su zahtjevi koji se postavljaju pred zaštitne prevlake ovisno o dijelu platforme. Posebno je obrađena zona zapljuskivanja koja je jedan od najproblematičnijih dijelova za zaštitu od korozije.

S problemom zaštite od korozije u zoni zapljuskivanja suočene su i platforme u Jadranskom moru kao što je platforma Ivana K. Na slikama 1 i 2 je prikazana razlika u intenzitetu korozije u različitim zonama konstrukcije zbog različite agresivnosti okoline.

Nepovoljan položaj ove zone, zbog plime i oseke kao i valova i soli u atmosferi otežava zaštitu premazima što dovodi do ubrzanog propadanja prevlake i materijala. U radu su ispitane četiri različite vrste prevlaka kako bi se utvrdila najpovoljnija i najisplativija metoda zaštite.



Slika 1. Korozijsko oštećenje na platformi Ivana K [2]



Slika 2. Korozija u zoni zapljuskivanja kod platforme Ivana K [2]

## 2. Klasifikacija korozijskih procesa

Korozijski procesi se mogu podijeliti prema mehanizmu procesa korozije i prema pojavnom obliku korozije. Korozija se javlja i kod metalnih i kod nemetalnih konstrukcijskih materijala, pa se koristi i podjela na koroziju metala i koroziju nemetala. Kako su u današnjoj industriji metali osnovni materijali, ovaj rad naročitu pažnju posvećuje korozijskom ponašanju metala i metalnih konstrukcija. Prema mehanizmu procesa korozije metala, razlikujemo kemijsku i elektrokemijsku koroziju. S obzirom na pojavni oblik korozija može biti opća, lokalna, selektivna i interkristalna.

Korozija nemetala u svim medijima redovito je srodna koroziji metala u neelektrolitima jer nemetali, uglavnom, nisu električni vodiči pa ne mogu izravnom elektrokemijskom reakcijom prijeći u ione.

### 2.1. Mehanizmi korozijskih procesa

#### 2.1.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija metala zbiva se u neelektrolitima, tj. u medijima koji ne provode električnu struju, pri čemu nastaju spojevi metala s nemetalnim elementima (najčešće oksidi i sulfidi). Najvažniji neelektroliti koji u praksi izazivaju kemijsku koroziju metala svakako su vrući plinovi i organske tekućine.

Kemijska korozija metala nastaje se u reakciji atoma metala iz kristalne rešetke s molekulama nekog elementa ili spoja iz okoline, pri čemu izravno nastaju molekule spoja koji je korozijski produkt. Kemijska korozija u vrućim plinovima (plinska korozija) teče samo uz uvjet da su ti plinovi suhi, tj. da zbog visoke temperature na metalu ne mogu nastati ni tekuća voda ni vodena otopina, bilo kondenzacijom bilo adsorpcijom, jer čim dođe do jedne od tih pojava, odvija se elektrokemijska korozija. Plinska korozija najčešće se odvija u vrućem zraku i u sagorijevanim plinovima. Do ove vrste korozije može doći kod vruće obrade metala, u pirometalurškim i termoenergetskim postrojenjima, u industrijskim pećima, u motorima s unutarnjim izgaranjem i sl. Organske tekućine mogu izazvati kemijsku koroziju samo ako su bezvodne jer inače dolazi do elektrokemijske korozije. Najvažnije bezvodne tekućine su nafta i njezini derivati, otapala za odmašćivanje i razrjeđivanje lakova i boja, te otopine ne ioniziranih tvari u takvim tekućinama. Ova vrsta korozije u tehnici najčešće nastaje djelovanjem maziva na dijelove strojeva [3].

### **2.1.2. Elektrokemijska korozija**

Elektrokemijska korozija metala zbiva se u elektrolitima, tj. u medijima s ionskom vodljivošću. To je redukcijsko-oksidacijski proces pri kojemu dolazi do oksidacije atoma metala kao reducensa (donora elektrona) u slobodni kation uz istodobnu redukciju nekog oksidansa, tzv. depolarizatora (akceptora elektrona). Elektrokemijska korozija se odvija u prirodnoj i tehničkoj vodi, u vodenim otopinama kiselina, lužina, soli i drugih tvari, u vlažnom tlu, u sokovima biološkog porijekla, u talinama soli, oksida i hidroksida te u atmosferi. Atmosferska se korozija zbiva uz oborine, odnosno u vodenom absorbatu ili kondenzatu koji zbog vlažnosti zraka nastaju na površini metala i imaju karakter elektrolita.

Elektrokemijska korozija je vrlo raširena jer je velik broj metalnih konstrukcija i postrojenja izložen vodi ili otopinama, vlažnom tlu ili vlažnoj atmosferi. Posebno dobri uvjeti za razvoj ovih procesa postoje u energetskim i metalurškim postrojenjima te u kemijskoj, prehrambenoj, tekstilnoj i metaloprerađivačkoj industriji [3].

## **2.2. Pojavni korozijski oblici**

Prema pojavnom korozijskom obliku korozija se dijeli na opću, lokalnu, selektivnu i interkristalnu koroziju.

### **2.2.1. Opća korozija**

Opća korozija zahvaća čitavu površinu materijala, a može biti ravnomjerna ili neravnomjerna. Ravnomjerna opća korozija tehnički je najmanje opasna jer se proces može lako pratiti i predvidjeti kada treba određeni dio popraviti ili ga zamijeniti s novim. Primjer ravnomjerne opće korozije je prikazan na slici 3. Neravnomjerna opća korozija je puno opasnija. Do opće korozije dolazi kada je čitava površina materijala izložena agresivnoj sredini pod približno jednakim uvjetima s obzirom na unutrašnje i vanjske faktore korozije. Pri odabiru materijala otpornih na opću koroziju, treba uzeti u obzir okolinu u kojoj će se pojedini metal nalaziti te njegovu podložnost općoj koroziji u predviđenim uvjetima. Ovaj oblik korozije kontrolira se korištenjem organskih ili metalnih prevlaka [3].





Slika 3. Primjer opće ravnomjerne korozije na platformi Ida C [2]

### **2.2.2. Lokalna korozija**

Lokalna korozija napada samo neke dijelove izložene površine, te je ujedno i najrašireniji pojavni oblik korozije. Lokalna korozija se može podijeliti na pjegastu, rupičastu, podpovršinsku i kontaktnu. Pjegasta korozija ograničena je na pojedine veće dijelove površine [3].

#### **2.2.2.1. Rupičasta korozija**

Rupičasta korozija je usko lokalizirani oblik korozije koji se događa kada medij koji uzrokuje koroziju napada materijal lokalno i uzrokuje nastajanje malih rupica. To se obično događa na mjestima gdje je zaštitna prevlaka popustila uslijed mehaničkog oštećenja ili kemijske degradacije. Rupičasta korozija je jedan od najopasnijih oblika korozije jer ju je vrlo teško predvidjeti i spriječiti, te relativno teško otkriti, događa se vrlo brzo te prodire u metal bez da uzrokuje vidljivi gubitak mase. Često može doći do iznenadnih havarija mada je gubitak materijala neznatan. To se obično događa na konstrukcijama koje su mehanički opterećene. Rupičastu koroziju je teško mjeriti i predvidjeti jer se pojavljuje u obliku mnogih rupica sa različitim dubinama i promjerima, koje se ne pojavljuju pod određenim specifičnim uvjetima. Nehrđajući čelici su najpodložniji rupičastoj koroziji među metalima i legurama. Rupice se na nehrđajućem čeliku pojavljuju u morskoj vodi, te u okolišu koji sadrži visoke koncentracije klora. Poliranjem površine nehrđajućeg čelika može se povećati otpornost rupičastoj koroziji. Također dobar učinak na otpornost rupičastoj koroziji postiže se legiranjem sa Cr, Mo i Ni. Ispravan odabir materijala je iznimno važan u prevenciji pojave rupičaste korozije. Jedan od načina provjere odabranog materijala je i ispitivanje, odnosno izlaganje materijala okolini [4].

### 2.2.2.2. Podpovršinska korozija

Podpovršinska korozija se pojavljuje kada se žarišta rupičaste korozije šire u dubini materijala te ga raslojavaju. Najraširenija je u valjanim metalima u dodiru s morskom vodom i s kiselinama. Na površini materijala pri tome često nastaju mjehuri jer se u njegovoj unutrašnjosti gomilaju čvrsti korozijski produkti kojima je volumen veći od volumena uništenoga materijala [3].

### 2.2.2.3. Kontaktna korozija

Kontaktnu koroziju možemo podijeliti na galvansku kontaktnu koroziju koja se javlja pri dodiru dvaju različitih metala, te na koroziju u procjepu pri dodiru dvaju dijelova od istoga metala ili metala i nemetala.

Galvanska korozija se javlja kada su dva metala sa različitim električnim potencijalima električno povezani, bilo fizičkim kontaktom ili kroz medij koji provodi elektricitet. Sustav koji zadovoljava navedene uvjete formirat će elektrokemijsku ćeliju koja će provoditi elektricitet. Inducirana električna energija tada odvlači elektrone od jednog metala, koji se ponaša kao anoda, a drugi metal, katoda, prima elektrone. Primjer galvanske korozije prikazan je na slici 4.



Slika 4. Kontaktna korozija na odobalnom postrojenju [5]

Galvanska korozija je najveća u blizini površine gdje su dva metala u kontaktu. Smanjenje sklonosti galvanskoj koroziji postiže se odabirom materijala koji imaju relativno bliske korozijske potencijale, izolacijom kontakta različitih metala, izolacijom anodnog metala od korozivnog okoliša. Korozija u procijepu slična je rupičastoj koroziji. Smanjenje sklonosti koroziji u procijepu postiže se izbjegavanjem uskih procijepa pri konstruiranju, izbjegavanje naslaga, katodnom zaštitom, izbjegavanjem stagnacije medija, omogućavanjem drenaže [4].

#### 2.2.2.4. Napetosna korozija

Napetosna korozija slika 5 nastupa kada je dio koji korodira istovremeno izložen djelovanju agresivnog medija i vlačnog naprezanja. Ovaj tip korozije nastupit će najčešće na hladno deformiranim lokalitetima, jer se tamo nalaze zaostala naprezanja. To su npr. hladno deformirana koljena cjevovoda. Također nastaje u okolini zavarenih mjesta gdje su povišena zaostala naprezanja zbog ubrzanog hlađenja. Napukline napreduju okomito na smjer vlačnog opterećenja, a šire se interkristalno ili transkristalno. Smanjenje sklonosti napetosnoj koroziji postiže se sniženjem vlačnog naprezanja toplinskom obradom, konstrukcijskim izmjenama, obradom mlazom sačme i sl. Također korištenjem inhibitora, katodnom zaštitom, zamjenom metala ili deaktivacijom medija [4].



Slika 5. Napetosna korozija na cijevi [6]

#### 2.2.2.5. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija razara materijal na granicama zrna šireći se na taj način u dubinu. Ova vrsta korozije uglavnom se pojavljuje na legurama. Interkristalna korozija je najopasniji oblik korozije jer može dugo ostati neprimijećena, a naglo smanjuje čvrstoću i žilavost materijala. Konačna je posljedica interkristalne korozije lom ili čak raspad materijala u zrna. Najčešće zahvaća nehrđajuće čelike, legure na bazi nikla i aluminija [3].

### 3. Odobalna postrojenja

Odobalna postrojenja su u pogonu na različitim dijelovima svijeta preko 40 godina. Ranije iskustvo kod gradnje odobalnih postrojenja u Meksičkom zaljevu je bilo kod dubina manjih od 90 m. Kako je tehnologija napredovala dubine najdubljih platformi su narasle na dubine veće od 300 m.

Odobalna postrojenja djeluju u nepogodnom okolišu na koji značajno utječe položaj postrojenja i dubina vode na kojoj se postrojenje nalazi. Postrojenja su izložena utjecaju više različitih korozivnih zona (morsko dno, morska voda, zona zapljuskivanja i morska atmosfera), te svako područje treba zaštititi posebnim sustavom zaštite od korozije [7].

Problem korozije kod morske atmosfere javlja se na dijelu iznad zone zapljuskivanja. Izložene površine čelika zahvaćene su korozijom zbog vodene maglice, kiše, nataložene soli, kondenzata morske vode i kisika. Brzina korozije na tom području može varirati od 0,05 do 0,64 mm/godinu. Korozija je posebno agresivna u pukotinama i na oštrim bridovima, kao što su isprekidano zavarene ploče i konstrukcijski dijelovi. Povećanje pažnje pri konstruiranju i obradi detalja može smanjiti veliku većinu tih područja. Atmosferska korozija se može minimalizirati korištenjem prevlaka ili zamjenom čeličnih dijelova s neželjeznim materijalima, kao što su legure bakra, legure nikla i plastika ojačana staklenim vlaknima. Također treba voditi brigu kako bi se izbjegli problemi galvanske korozije kod spajanja različitih materijala. U tablici 1. su opisane zone u morskom okolišu i karakteristično ponašanje čelika u njima [7].

Zona zapljuskivanja je područje koje se naizmjenično vlaži i suši zbog plime i vjetera. Ova zona ne uključuje površine koje se zapljuskuju jedino kod velikih oluja. Zona zapljuskivanja na platformama prekriva područje od 1,5 pa do 12 m iznad površine mora ovisno o lokaciji. Općenito područje platforme trpi snažnu koroziju u području zone zapljuskivanja. Metode kontrole korozije u zoni zapljuskivanja obuhvaćaju primjenu prevlaka i povećanje debljine stjenki od 6,4 do 19 mm kako bi nadomjestili veću brzinu korozije ili primjenom obloga od „Monela“.

Korozija čelika u morskoj vodi je funkcija slanosti vode, temperature, sadržaja kisika, strujanja, električnog otpora i kemijskog sastava. Neki faktori korozije su međusobno zavisni kao npr. odnos između topljivosti kisika i temperature u morskoj vodi.

Niža temperatura, uzrokuje veću topivost. Kako se razina kisika ili visina temperature povećavaju, povećava se i brzina korozije. Kontrola korozije u morskoj vodi provodi se tako da se čelični stupovi katodno štite. Koriste se obično dvije vrste katodne zaštite: žrtvovanom anodom, narinutim naponom ili kombinacijom ove dvije metode. Povremeno, katodna zaštita se koristi u kombinaciji sa prevlakama [7].

Tablica 1. Klasifikacija tipičnih zona morskog okoliša [7]

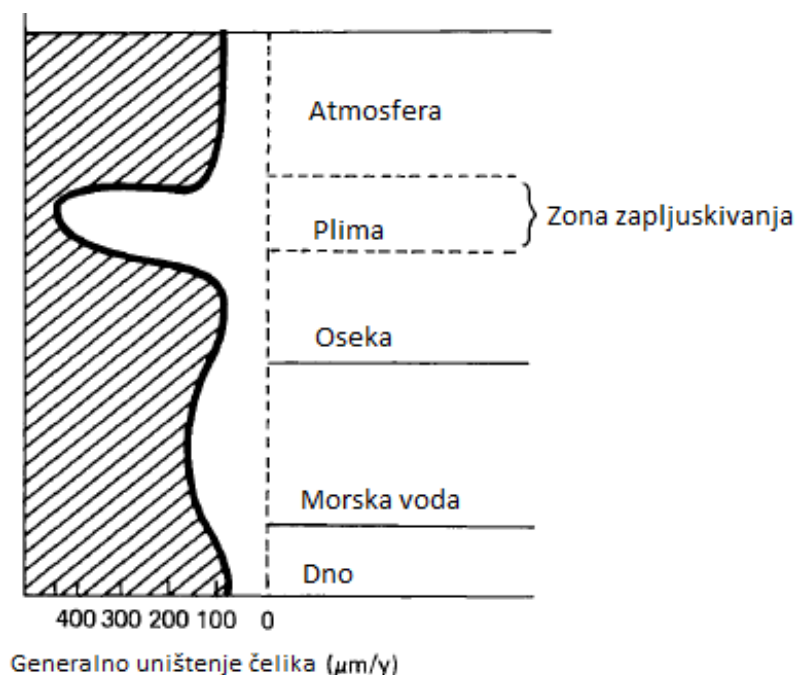
Područja u morskom okolišu	Opis okoliša	Karakteristično ponašanje čelika
Atmosfera (iznad zone zapljuskivanja)	Čestice morske soli se nanose na površinu vjetrom. Korozivnost varira sa visinom iznad vode, brzinom i smjerom vjetra, padalinama, temperaturi, sunčevoj radijaciji i onečišćenju.	Zaklonjene površine mogu korodirati brže nego one izložene. Kod tih površina sol se može ispirati kišom. Prašina u kombinaciji sa soli je izrazito agresivna za čelične površine. Korozija se značajno smanjuje prema unutrašnjosti.
Zona zapljuskivanja	Vlažna površina i bogata CO <sub>2</sub> , nema obraštanja.	Najagresivnija zona za mnoge metale, npr. čelik. Zaštitne prevlake je mnogo teže održavati nego u drugim zonama.
Zona plime i oseke	Obraštanje je prisutno u velikoj mjeri. Može biti prisutno zagađenje od ulja, nafte i dr. Dovoljno kisika prisutno za korozivne procese.	Čelik u zoni plime i oseke može djelovati katodno (visok udio CO <sub>2</sub> ) i zahtjeva zaštitu malo ispod vodene linije za vrijeme oseke. Kod izoliranih čeličnih dijelova prilično je velika korozivnost u ovoj zoni.
Morska voda (između zone oseke i morskog dna)	Morska voda je obično zasićena kisikom. Zagađenje, sedimenti, obraštanje, brzina vode itd. može igrati veliku ulogu na brzinu korozije.	Korozivnost može biti veća nego kod morske atmosfere. Obraštanje i taloženje karbonata na katodnim područjima. Zaštitne prevlake i/ili katodna zaštita mogu se koristiti u svrhu kontrole korozije. Uglavnom sloj tvrde ljuske i drugog obraštaja smanjuje dotok kisika na površinu i tako smanjuje koroziju (povećanje naprezanja na konstrukciji zbog težine obraštaja mora se predvidjeti).

## 4. Morski okoliš

Morska voda prekriva tri četvrtine površine Zemlje i to je okoliš koji je najnepovoljniji u smislu korozije za brodove i postrojenja koja se nalaze u blizini morske vode. Prema tome, konstrukcije u morskom okolišu važno je dobro zaštititi od korozije, ne samo zbog morske vode nego i zbog zraka iznad, koji sadrži klorid iz mora u morskoj maglici. Važnost morskog okoliša se međutim povećala posebno u zadnjih par desetljeća zbog eksploatacije prirodnih resursa u moru i spoznajom da se iz mora može dobiti energija pomoću gibanja valova i vjetra. Morski okoliš je agresivniji nego većina okoliša u kontinentalnom području i razumijevanje prirode morskog okoliša je od velike važnosti za najbolje korištenje materijala koji su izloženi takvom okolišu ili koji će se tek primjenjivati bilo na morskoj obali ili u moru. Korozija mnogih materijala je često veća na dijelovima koji zapravo nisu uronjeni u more nego se nalaze iznad površine morske vode. Slika 6 prikazuje područja različitog djelovanja korozije na pojedine dijelove konstrukcije zbog različite agresivnosti zone u kojoj se postrojenje nalazi, s prikazom razlike u brzini korozije čelika koja se razlikuje u različitim zonama. Područja uz obalu se također smatraju pod morskim ili obalnim okolišem kako se ponekad zove [8].

### 4.1. Morska Voda

Glavno karakteristično svojstvo morske vode je visok sadržaj soli. Morska voda sadrži sol na područjima koja su dalje od obalnih utjecaja kao što su topljenje leda, rijeke i područja s velikim isparavanjem, područja gdje je sastav morske vode uglavnom konstantan i rijetko izvan raspona od 33-38 ‰. Zajednička prosječna vrijednost koja se koristi za morsku vodu je 35 ‰ [8].



Slika 6. Zone u morskom okolišu [8]

Značajka morske vode je u tome što sastav soli bez obzira na apsolutne koncentracije ima gotovo konstantna svojstva za različite sastave. Međutim, neki od drugih sastojaka imaju značajan utjecaj na korozivnu reakciju kao što je otopljeni kisik i ugljikov dioksid u vodi, te svojstva vode kao što su temperatura, gustoća i električna vodljivost.

Teško je odrediti konvencionalnom kemijskom analizom ukupnu količinu otopljene krute tvari u bilo kojem uzorku morske vode. To je djelomično zbog toga što morska voda sadrži puno organske tvari, a također zbog prisutnosti mnogih karbonata i hidrokarbonata koji se rijetko mogu podvrgnuti točnim i ponovljivim kemijskim analizama.

Međunarodno vijeće za iskorištavanje mora (ICES) razvilo je metodu za određivanje sadržaja soli u morskoj vodi, koja je našla rijetku primjenu u praksi. Sadržaj soli se uglavnom dobiva korištenjem empirijskog odnosa određenog od međunarodnog vijeća, a koji je prikazan jednadžbom (1)

$$\text{Slanost} = 0,03 + 1,805 \times \text{sadržajklora} \quad (1)$$

Sadržaj klora u morskoj vodi je u području od 18-20 [8].

#### 4.1.1. Temperatura

Temperatura površine oceana se razlikuje ovisno o geografskoj širini, a u rasponu je od oko 2 °C na polovima pa do 35 °C prema ekvatoru. Temperatura na svakom području podliježe sezonskim varijacijama, vjetru i strujama. Površina mora je također zahvaćena vremenskim uvjetima ali uvijek manje nego kopno. U tropskoj klimi godišnje varijacije su manje od onih u umjerenim zonama gdje iznose oko 10 °C. Na dubinama oko 1000 m temperatura ima tendenciju da opada [8].

#### 4.1.2. Otopljeni plinovi

Otopljeni plinovi mogu imati važan utjecaj za određivanje brzine korozije u morskoj vodi. Prisutnost i odsutnost otopljenog kisika je važan faktor u koroziji metala uronjenih u more. To varira s temperaturom od oko 8,0 ml/l za površine vode u Arktiku do oko 4,5 ml/l u tropskom pojasu.

Koncentracija otopljenog kisika nikako nije funkcija samo temperature, ovisi i o stupnju kretanja vode, vremenu u kojem je bila u dodiru s atmosferom i veoma značajno o količini biološke aktivnosti koja se odvija. Fotosinteza biljaka koje rastu u površinskim slojevima mora može uzrokovati značajno povećanje sastava kisika, dok aktivnosti nekih bakterija može smanjiti sastav kisika na nulu.

Kretanje kisika u morskoj vodi najviše ovisi o isparavanju, posebno u zatvorenim bazenima i pristaništima te o kretanju vode i relativnoj vlazi zraka [8].

#### 4.1.3. Ugljikov dioksid

Povećana korozija na metalima uronjenim u morsku vodu često se kontrolira sa prisutnosti ili odsutnosti ugljikovog dioksida. Količina ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) u morskoj vodi može imati direktan utjecaj na koroziju.

Ugljikov dioksid djeluje kao parcijalni tlak koji se odnosi na temperaturu i pH. Morska voda djeluje više lužnato što znači da postoji određena količina viška lužine ili alkalne rezerve koja je u kombinaciji s ugljičnom kiselinom. Taj višak lužine je ekvivalentan ugljičnim i borovim ionima u vodi. Datom slanošću, temperaturom, pH-om i količini viška lužine je moguće izračunati ukupan CO<sub>2</sub> sadržaj, njegov parcijalni tlak i koncentraciju hidrokarbonata i iona ugljika. Kad se kiselina doda morskoj vodi, lužnatost se neutralizira i CO<sub>2</sub> se oslobađa, isparavanje CO<sub>2</sub> je sporo i može potrajati do 24 sata kako bi se uspostavila nova ravnoteža, čak i pod uvjetima stalnog miješanja i nadopunjavanja svježim zrakom.



Stoga se teško može mijenjati pH morske vode. Ova radnja može utjecati na napredak korozije, jer se lokalne koncentracije kiseline ne mogu održavati vrlo dugo u područjima korozije.

Treba istaknuti da se podatci o topljivosti iz standardnih tablica koje se temelje na destiliranoj vodi ne mogu koristiti za morsku vodu. Na primjer, topljivost kalcijevog karbonata u morskoj vodi je 19‰ što je oko 530 puta veće njegove od topivosti destiliranoj vodi [8].

#### 4.1.4. Električna vodljivost

Velika električna vodljivost morske vode je faktor koji određuje intenzitet korozije koja se javlja kod uronjenih konstrukcija, posebno kod galvanskih parova i kod lokalnih slučajeva kao što su pukotine. Električni otpor morske vode je uspoređen sa drugim tipovima voda u tablici 2.

Tablica 2. Prosječne vrijednost električnog otpora vode [8]

Vrsta vode	Otpornost ( $\Omega$ cm)
Čista voda	20 000 000
Destilirana voda	500 000
Kišnica	20 000
Voda iz slavine	1 - 5000
Rijeke	200
Morska voda (uz obalu)	30
Otvoreno more	20-25

#### 4.1.5. pH morske vode

Morska voda je normalno alkalna i pH površinskih slojeva oceana gdje je voda uravnotežena sa ugljikovim dioksidom iz atmosfere je u području između 8,1 i 8,3, a na otvorenom oceanu je uglavnom uravnotežena sa ugljikovim dioksidom iz atmosfere. Međutim, kod područja uz obalu i drugih područja gdje je znatna mikrobiološka aktivnost ove brojke se razlikuju. Prisutnost velike količine hidrogen sulfata smanjuje pH vrijednost (voda postaje više kisela), kad se odvija fotosinteza kod biljaka, koja smanjuje sadržaj CO<sub>2</sub>. pH morske vode se mijenja promjenom temperature. Običan učinak porasta temperature je smanjenje pH. Ipak toplina uzrokuje isparavanje CO<sub>2</sub> što dovodi do porasta alkalnosti.

Na većim dubinama oceana pH je obično ispod 8,0 zbog tlaka, a srednji slojevi mogu ponekad postati više kiseli zbog raspada organizama [8].

#### **4.1.6. Obraštanje**

Velika se količina životinjskog i biljnog svijeta nalazi u morskoj vodi i to ima direktan i indirektan utjecaj na koroziju. Bakterijska aktivnost može imati direktan utjecaj na korozijsku aktivnost posebno u zagađenoj vodi u blizini obale. Bakterije koje smanjuju sadržaj sulfata mogu uzrokovati da čelik korodira pod anaerobnim uvjetima. Međutim, obraštaj je drugačije prirode i kao takav ima utjecaj na koroziju, a često dovodi i do drugih problema. Uzrokuje probleme na trupovima brodova gdje uzrokuje povećanu potrošnju goriva i probleme kod održavanja brzine. Kod odobalnih struktura, sama težina morskih izraslina može uzrokovati probleme i različite vrste organizama mogu se nakupiti na unutrašnjim površinama cijevi i kanala i uzrokovati poteškoće. Nakupljanje organizama unutar cijevi ograničava protok morske vode i može dovesti do sekundarnih efekata kao što su kavitacijska korozija zbog veće brzine protoka. Također to može uzrokovati stvaranje naslaga i nastajanje korozije na nehrđajućim čelicima. S druge strane, morske izrasline mogu pod određenim okolnostima štiti od korozije. Obraštanje se razlikuje u različitim dijelovima svijeta. Bilo je pokušaja da se naprave karte koje prikazuju područja obraštanja, ali one imaju ograničenja zbog čimbenika kao što su temperatura vode, slanost, udaljenost od obale i dubina [8].

### **4.2. Korozija kod uronjenih konstrukcija**

Na koroziju čelika utječu mnogi faktori, a neki će biti obrađeni u ovom poglavlju. Ako se prilikom ispitivanja utjecaja na koroziju svi faktori ne uzmu u obzir, ispitivanja mogu dati pogrešne rezultate.

#### **4.2.1. Temperatura**

Utjecaj porasta temperature očekivano bi ubrzao ostale kemijske procese što bi dovelo do porasta brzine napredovanja korozije. Međutim, to se ne događa uvijek. Na primjer, uzorci čelika uronjeni u tropskim vodama ne moraju nužno korodirati većom brzinom od onih uronjenih u umjerenim klimama. To se događa zbog različitog sadržaja otopljenog kisika i manje morskih izraslina u hladnijim vodama.

Kod testiranja izvedenih u morima različitih temperatura korozija ugljičnog čelika na temperaturi od 25 °C je bila skoro duplo veća nego ona na 10 °C.

Rezultati dobiveni za brzinu korozije bakra i aluminija u tropskim vodama u usporedbi s onima oko Britanskog otočja pokazali su da se brzina napretka korozije pri povećanju temperature za svakih 10 °C udvostručuje [8].

#### **4.2.2. Dubina**

Ne postoje podatci o značajnim istraživanjima utjecaja dubine na koroziju metala. Kisik varira s povećanjem dubine i ima tendenciju smanjivanja na dubinama od 1000 do 2000 m i zatim opet raste. S druge strane i temperatura opada s porastom dubine. Općenito, napredak korozije opada s porastom dubine, ali ipak postoje izuzetci. Prema ispitivanjima Američkog istraživačkog laboratorija za brodogradnju čiji su rezultati uspoređeni sa rezultatima promatranja korozije na različitim razinama površine mora, rezultati su pokazali smanjenje korozije s povećanjem dubine. Međutim, kod nekih rezultata je bilo iznimki. Tako se korozija cinka povećala sa 0,015 mm/god na površini na 0,150 mm/god na dubini oko 2000 m [8].

#### **4.2.3. Brzina strujanja**

Brzina strujanja morske vode može utjecati na brzinu korozije metala u velikom broju slučajeva. Povećanje brzine strujanja morske vode može rezultirati povećanjem količine kisika koji je u dodiru s površinom metala i također može povećati brzinu skidanja zaštitnog filma. Kod većih brzina strujanja može doći do stvaranja kavitacijske korozije.

Brzina je vrlo važna za cjevovode ili gdje se provodi gibanje kroz more. Učinak gibanja morske vode u odnosu na relativno statične strukture i vanjske površine cjevovoda utjecat će na količinu abrazivnog materijala zahvaćenog vodom. Općenito, ugljični čelici i cink korodiraju većom brzinom sa povećanjem brzine vode. Brzina korozije čelika može se udvostručiti gdje se mijenjaju uvjeti sa statične vode do brzine od 1 m/s; za cink povećanje je čak i veće [8].

Ovi podatci su dobiveni na temelju laboratorijskih ispitivanja. Kod nehrđajućih čelika korozija se ne pojavljuje kod brzine od 2 m/s, ali na brzinama preko 2 m/s dolazi do pojave korozije. Pri većim brzinama korozija se pojavljuje i na legurama bakra [8].

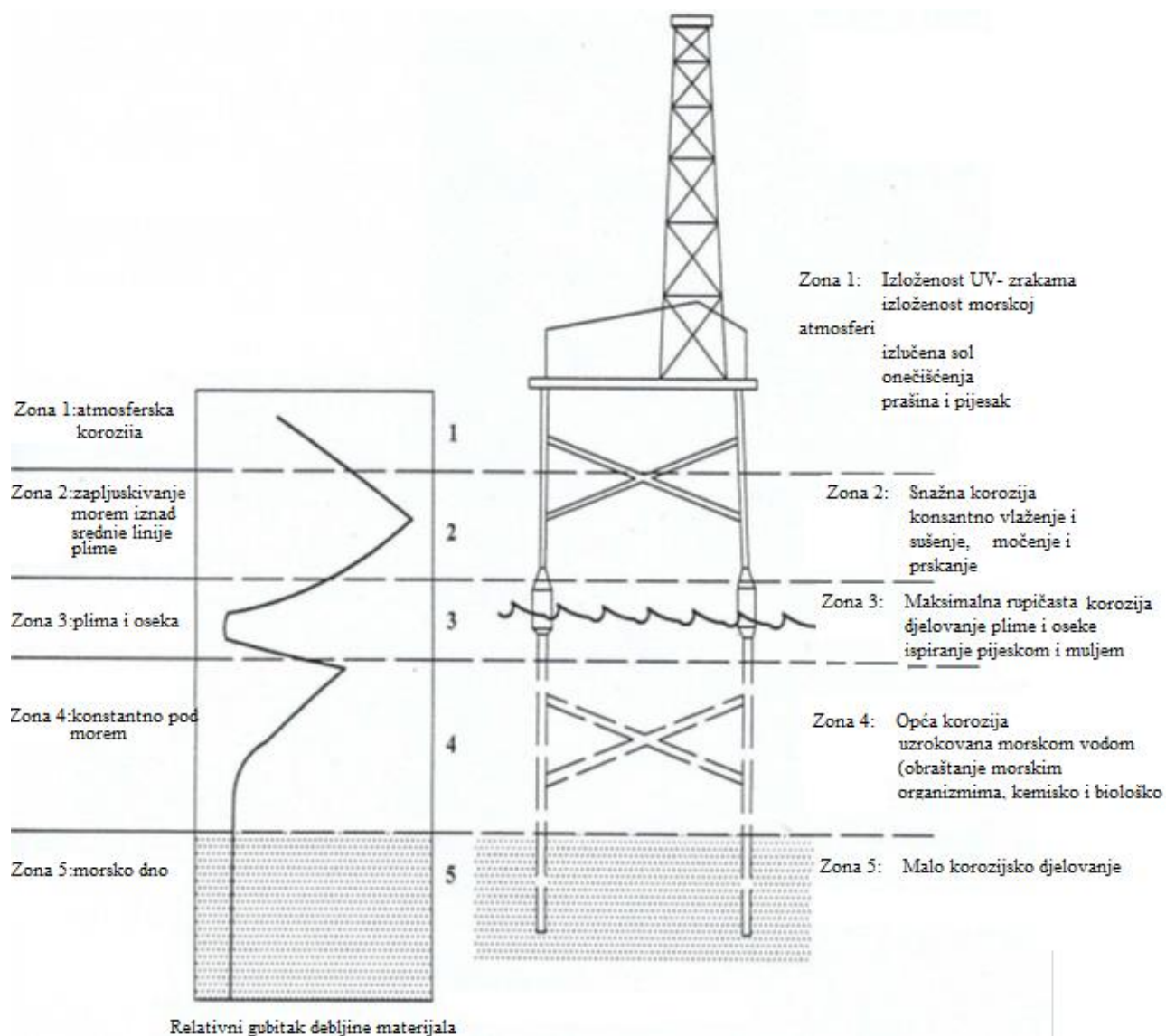
### 4.3. Atmosfera morskog okoliša

Kod atmosfere morskog okoliša postoje dva specifična tipa okoliša:

- U zoni zapljuskivanja, gdje se izmjenjuju vlažni i suhi periodi na površini metala što uzrokuje taloženje soli iz mora.
- Područja gdje se sol može uočiti na površini metala, a to može biti i sol koja je otpuhana sa zone zapljuskivanja. Količina soli se može odrediti faktorima kao što su prevladavajući smjer vjetra i opće topografije terena gdje se postrojenje nalazi. To okruženje može biti na nekoliko metara od obale ili sve do nekoliko kilometara od obale.

Ovakve pojave mogu biti pod utjecajem industrijske aktivnosti na cijelom području, te prisutnost kemijskog onečišćenja, sumporovog dioksida i dima može uzrokovati povećanu stopu korozije u usporedbi sa nezagađenim morskim okolišem. Za mnoge legure npr. ugljične čelike, na brzinu korozije u zraku utječe i vrijeme pri kojem površina ostaje vlažna, ali i područje gdje postoji zagađenje, plinovito zagađenje i prljavština u zraku.

Kiša, kondenzacija vlage i relativna vlažnost imaju također utjecaj na brzinu korozije. Temperatura ima veliki broj utjecaja, neizravno kao što je stupanj isparavanja vlage sa površine te dnevne varijacije temperature. Relativna vlažnost ima značajan utjecaj na koroziju kroz djelovanje vremena pri kojem je materijal bio pod vlagom i može se definirati kao postotak omjera tlaka i vodene pare u atmosferi uspoređeno sa zasićenjem atmosfere pri istim temperaturama [8]. Na slici 7. su prikazane zone djelovanja korozije na odobalnu konstrukciju.

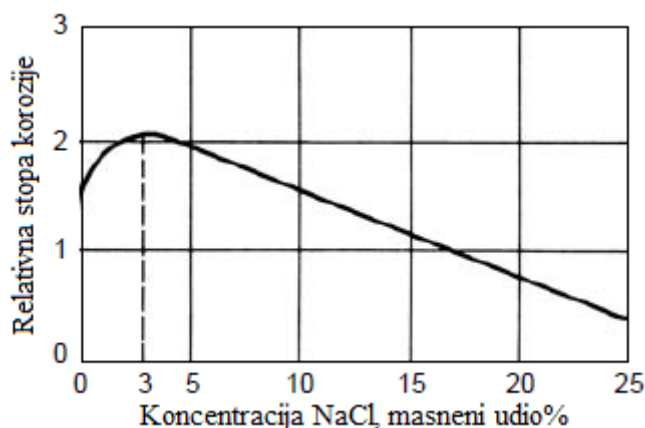


Slika 7. Prikaz zona utjecaja i promjene u brzini korozije [9]

Općenito, prema nekim istraživanjima gdje je bila uspostavljena prisutnost normalnog industrijskog zagađenja ako što je sumporov dioksid, pojava korozije na čeliku nastaje pri 70 % relativne vlažnosti. Uz prisutnost klorida do korozije dolazi na mnogo nižoj relativnoj vlažnosti od oko 40 % [8].

### 4.3.1. Uronjena zona

Područje uronjene zone konstantno je izloženo djelovanju morske vode, salinitetu, bakterijama, algi, morskih trava, itd. Na slici 8 je prikazan dijagram koji prikazuje utjecaj saliniteta vode na relativnu stopu korozije.



Slika 8. Utjecaj koncentracije NaCl-a na brzinu korozije željeza pri sobnoj temperaturi [8]

U ovoj se zoni zaštita od korozije osigurava kombinacijom premaza i katodne zaštite. Primarna funkcija premaza, u ovoj zoni, nije zaštita od korozije već ograničavanje strujnih zahtjeva za katodnu zaštitu. Katodna zaštita je dobro utvrđena tehnologija opisana standardima. Dakle, zaštita od korozije vanjskih površina uronjene zone ne bi trebala biti problem [10]. Pod uronjenom zonom se smatra dio strukture koji je uronjen u more na dubini od 0,3 do 1 m ispod prosječne oseke pa do dna mora.

### 4.3.2. Zona zapljuskivanja

Visina zone zapljuskivanja definirana je DNV-OS-F101 standardom. Prema standardnoj atmosferskoj plimi, visini valova, silaznim i uzlaznim kretnjama definira se gornja i donja granica zone zapljuskivanja. Ovi parametri ovise o geografskom položaju i tipu konstrukcije (da li je plutajuća ili je pričvršćena za morsko dno) [11]. Pod zonom zapljuskivanja smatra se dio postrojenja koji se nalazi iznad srednje prosječne visine plime koji izložen vlaženju morskih kapljica.

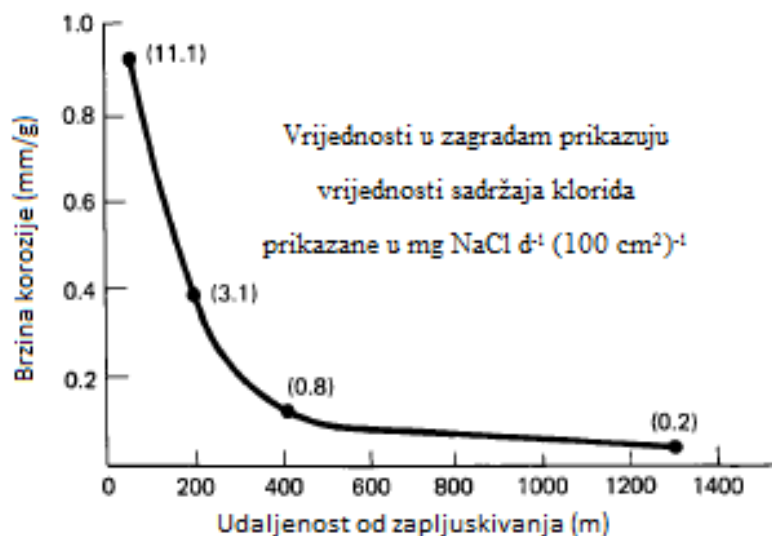
Konstrukcija je u ovom dijelu gotovo stalno izložena morskoj vodi, djelovanju valova i zraka, plime i oseke, ograničenoj ili gotovo nikakvoj katodnoj zaštiti, ali nije pod utjecajem obraštanja.

Područje zapljuskivanja je najagresivnije od svih ostalih zona. Udarci valova i tendencija stvaranja malih zračnih mjehurića u morskoj vodi također pridonose odvajanju zaštitnih prevlaka i premaza od metalne konstrukcije te tako znatno brže uništavaju iste. Metali poput nehrđajućeg čelika i titana pokazuju otpornost u ovom području jer su okruženi zrakom koji utječe na pasivnost materijala. Najveća oštećenja primjećuju se na području odmah ispod vodene linije jer uronjeni materijal ostvaruje zaštitu na korist drugog materijala. S obzirom da je na ovom području razina vode promjenjiva (plima i oseka) i postoji dovoljna opskrbljenost kisikom, te malo je vjerojatno da će se razviti katodna polarizacija kao što je to vjerojatno na određenom konstantno uronjenom dijelu [10].

Ispitivanje premaza i njihovo održavanje u zapljusnutoj zoni je teško i skupo zbog poteškoća uklanjanja vode na tom području. Kako bi se izbjeglo održavanje premaza, koriste se trajni i skupe prevlake od poliestera, vulkanizirana guma ili naštrcani aluminij [11].

Zona zapljuskivanja je općenito najkorozivnija zona za ugljične čelike, kao što je prikazano na slici 9. Ovom se području predaje velika važnost u području zaštite od korozije zbog velikih brzina korozije kod odobalnih postrojenja.

Slična korozivnost ili čak veća dolazi kod postrojenja koja se nalaze na obali npr. postrojenja koja su izložena zapljuskivanju na tropskim obalama. Ispitivanja koja je provodio bivši *British Iron* i *Udruženje za istraživanje čelika* [8] na obalama Nigerije prikazuju da se brzina korozije povećava kako se postrojenje približava obali, kao što prikazuje slika 9 [8]. Količina soli u zraku izmjerena pomoću vlažne krpe koja kupi čestice soli u zoni zapljuskivanja na udaljenosti od 50 m od obale je izmjerena oko 11,1 mg dok je na udaljenosti od 1500 m bila oko 0,2 mg. To ukazuje na povećani pad sadržaja soli u zraku s udaljavanjem od obale [8].



Slika 9. Korozija površine čeličnog lima na različitim udaljenostima od zapljuskivanja [8]

#### 4.3.3. Atmosferska zona

U ovoj zoni ne postoji direktan kontakt s morem, međutim komadići soli ili fina morska magla koja se nakuplja na metalnoj površini itekako utječe na oštećivanje konstrukcije. Koliko visoko iznad morske razine će atmosferska zona biti zahvaćena korozijom ovisi o vjetru i gibanjima mora. Fotosenzitivne korozijske reakcije metala bakra i željeza mogu se javiti uslijed sunčeve radijacije. U tropskim područjima, kombinacijom morske soli i koraljne prašine može doći do nastanka korozije. Također, količina i raspored kiše direktno utječe na količinu korozijskih produkata za određeno područje.

Tako učestala kiša smanjuje mogućnost nastajanja korozije ispiranjem soli na dostupnim mjestima, dok na nedostupnim mjestima, zbog kontaminiranja morskom soli i prašinom, povećava se vjerojatnost njezina nastanka. Općenito se može reći da je tropsko područje podložnije pojavi korozije od ostalih područja [10].



## 5. Odabir odgovarajućeg sustava zaštite

Odobalna postrojenja su znatno izložena nepovoljnim uvjetima s korozijskog aspekta. Osim klasičnih odobalnih postrojenja, postrojenja koja su pozicionirana u blizini morske obale također su izložena nepovoljnom korozijskom djelovanju.

Iz iskustva je poznato da primjena tehnologija zaštite od korozije koje se primjenjuju za postrojenja koja se nalaze na kopnu može završiti katastrofalno. Razlika u vijeku trajanja objekta, pristupačnosti za obavljanje radova održavanja kao i ekonomski uvjeti rezultiraju odabirom drugih vrsta sustava zaštite za odobalna postrojenja. Odabir odgovarajućeg sustava premaza u svrhu zaštite od korozije odobalnih postrojenja osim financijski, trebao bi zadovoljavati i mnoge druge čimbenike kako bi se postiglo najučinkovitije rješenje.

### 5.1. Parametri za odabir odgovarajućeg premaza

Kako bi se odabrao odgovarajući sustav premaza potrebno je uzeti u obzir čitavi niz parametara koji utječu na najekonomičniji i tehnički najbolji odabir premaza. Korozivnost okoliša, površina koju treba zaštititi, odgovarajuća trajnost sustava premaza te planiranje samog postupka nanošenja premaza najvažniji su čimbenici koje treba uzeti u obzir [12].

#### 5.1.1. Korozivnost okoliša

Korozivnost okoliša utjeCAT će na:

- vrstu premaza koja se koristi za zaštitu
- ukupnu debljinu sustava premaza
- potrebnu pripremu površine
- minimalne i maksimalne međupremazne intervale.

Kategorije korozivnosti određene su normom ISO 12944 i podijeljene su u šest skupina od jako niske korozivnosti do jako visoke (morski okoliš).

Tablica 3. Kategorije atmosferske korozivnosti prema standardu ISO 12944 [9]

Kategorija korozivnosti	Primjeri okoliša	
	Vanjski	Unutrašnji
<b>C1</b> jako niska	-	Grijanje zgrade sa čistom atmosferom, poput ureda, dućana, škola, hotela
<b>C2</b> niska	Lagano onečišćena atmosfera, uglavnom ruralna područja	Negrijane zgrade u kojima može doći do pojave kondenzacije, npr. spremišta, sportske dvorane
<b>C3</b> srednja	Industrijska i urbana atmosfera s prosječnom razinom onečišćenja sumpornim dioksidom (IV). Priobalna područja niskog saliniteta	Proizvodni objekti s visokom vlažnošću i određenim stupnjem onečišćenja zraka, npr. tvornice hrane, praonice, pivovare, mljekare
<b>C4</b> visoka	Industrijska i priobalna područja srednjeg saliniteta	Kemijske tvornice, bazeni, remontna brodogradilišta
<b>C5-I</b> jako viska (industrijska)	Industrijska područja s vrlo visokom vlažnošću i agresivnom atmosferom	Zgrade i površine sa gotovo konstantnom kondenzacijom i visokom razinom onečišćenja
<b>C5-M</b> jako visoka (morski okoliš)	Priobalje i pučina s visokom razinom saliniteta	Zgrade i površine sa gotovo konstantnom kondenzacijom i visokom razinom onečišćenja

Kategorijom korozivnosti C5-M opisani su uvjeti kojima su podvrgnuta odobalna postrojenja.

U tablici 4. su prikazane kategorije vode i tla koje su određene normom ISO 12944. [12]

Tablica 4. Kategorije vode i tla u skladu sa standardom ISO 12944 [12]

Kategorija korozivnosti	Okoliš	Primjeri okoliša i konstrukcija
Im1	Slatka voda	Instalacije na rijekama hidroelektrane
Im2	Morska ili boćata voda	Morske luke sa sljedećom opremom: vrata ustave, brane, podesiti iznad vode, gatovi, konstrukcije na pučini
Im3	Tlo	Podzemni spremnici, čelični podesiti, cjevovodi

### 5.1.2. Površina koju treba zaštititi

Odabir sustava premaza ovisi o materijalu i površini na koju se nanosi. U strojarstvu se uglavnom susreću konstrukcijski materijali kao što je čelik, vruće-pocinčani čelik, martenzitni čelik, aluminij ili nehrđajući čelik. Priprema površine, premazni materijali koji se koriste (naročito temelj) i ukupna debljina filma uglavnom ovise o konstrukcijskim materijalima kojima je potrebna zaštita [12].

### 5.1.3. Tražena trajnost sustava premaza

Vijek trajanja premaza je pretpostavljeni vremenski vijek od trenutka prvog nanošenja do prvog održavanja. HRN EN ISO 12944 specificira tri vremenska okvira koji kategoriziraju trajnost koji su prikazani u tablici 5.

Tablica 5. Vremenska kategorizacija trajnosti prema HRN EN ISO 12944 [12]

Kategorija premaza	Vijek trajanja
Nizak – L	2 do 5 godina
Srednji – M	5 do 15 godina
Visok – H	više od 15 godina

### 5.1.4. Planiranje postupka nanošenja boje

Dinamika izgradnje i različite faze gradnje kod svakog projekta određuju kako i kada je potrebno nanositi sustav premaza. Potrebno je obratiti pažnju na materijale u fazi prije izgradnje, kada se sastavni dijelovi izrađuju izvan mjesta izvođenja radova i na gradilištu kada su faze izgradnje završene. Potrebno je također planirati posao kako bi se moglo voditi računa o pripremi površine te vremenu sušenja/otvrdnjavanja u odnosu na visinu temperature i vlažnost zraka. Nadalje, ukoliko se jedna faza izgradnje odvija u zaštićenom okolišu radionice, a sljedeća faza se odvija na gradilištu, potrebno je uzeti u obzir vrijednosti za međupremazni interval [12].

## 5.2. Kontrola korozije

Metode zaštite od korozije mogu se podijeliti u četiri glavne kategorije, bez obzira koji od dva čimbenika (okoliš ili materijal) je važniji:

- korištenje premaza
- odabir materijala koji će biti otporan na koroziju u datom okolišu
- katodna zaštita
- kontrola ili smanjenja agresivnosti okoliša.

Petu metodu, koja se odnosi zapravo na pravilnu primjenu druge metode u praksi, možemo smatrati dizajnom. Ako zaštitu od korozije izaberemo više kao tehnički pristup na problem, onda se mora uzeti u obzir održavanje strukturnog integriteta ili operativne učinkovitosti postrojenja. To bi uključivalo zahtjeve za pristup izvršavanju održavanja i ukupnog dizajna u odnosu na uspješnu primjenu postupka kontrole.

Najčešće se može upotrijebiti više od jedne metode zaštite, ako će to biti korisnije s ekonomske točke gledišta [8]

Hoće li zaštita od korozije biti uspješna ili ne, odabrani premaz ne predstavlja garanciju uspjeha. Sustav zaštite od korozije je uspješno odabran samo ako su ispunjeni svi preduvjeti da bi se ispravno nanio premaz.

Neki od faktora koji utječu na antikorozivnu zaštitu su:

- dizajn konstrukcije, mogućnost pristupa
- izgled rubova i zavarenih spojeva
- stanje čelika prije pripreme površine
- priprema površine
- izbor zaštitnog premaza prema zadanim okolišnim uvjetima
- kvaliteta i priprema premaza.

### 5.2.1. Premazi

Premazi se koriste za zaštitu ugljičnog čelika u morskom okolišu. Zaštita premazima je najčešće korištena metoda u smislu suzbijanja korozije. Osnovni smisao zaštite premazima nije nužno elektrokemijske prirode, on se temelji na činjenici da izolira površinu metala od korozivnog okoliša. U praksi, međutim mnogi problemi nastaju zbog nedovoljnog posvećivanja pažnje zbog naizgled jednostavne prirode sustava premaza. Danas je dostupna velika količina premaza, najčešće su to organske prevlake, metalne prevlake, plastične prevlake, voskovi, masti i drugi materijali.

Sve organske prevlake propuštaju vlagu i kisik u većoj ili manjoj mjeri, a kako bi se to prevladalo nanose se premazi veće debljine pogotovo u morskim atmosferama. To je moguće zbog prirode premaza kao što su epoksidi i uretani koji otvrdnjavaju kemijski. Tako da su prevlake u biti barijerne prevlake prema okolišu. Većina prevlaka je propusna za vodu ili kisik. Ta sposobnost kisika i vlage da difundiraju kroz prevlaku pokazuje da zaštitno djelovanje ne proizlazi kroz kontrolu difuzije nego kroz visoku ionsku otpornost slojeva boje, koja sprječava migraciju iona te, tako smanjuje korozijske struje na niske vrijednosti (kontrola otpora). Osim metalnih pigmenata u organskim (ili neorganskim) vezivima, metali se također koriste kao prevlake. Oni su u osnovi izolacijske prirode prema okolišu. Nadalje, ti metali korodiraju, ali mnogo sporije od čelika.

Iako su metalne prevlake nanosene naštrcavanjem porozne, u znatnoj mjeri djeluju kao barijerne prevlake. Prevlake se naširoko koriste na čelicima npr. cink, aluminij i kadmij, imaju negativniji potencijal od čelika, te oni djeluju kao anode te tako štite čelik od korozije koja može nastati zbog diskontinuiteta ili oštećenje na prevlaci. To je dodatna prednost ali one se primarno koriste zbog toga što korodiraju manjom brzinom nego ne prevučeni ugljični čelici. Druge metalne prevlake kao bakar, nikal i krom imaju veći korozijski potencijal od čelika. To znači da kod diskontinuiteta, čelik će ubrzano korodirati, tako da te katodne prevlake trebaju biti kontinuirane sa minimalnim oštećenjima. U praksi bi u mnogim sredinama korozijski produkti trebali blokirati male pore na prevlaci.

Vjerojatno najotpornija prevlaka u morskoj atmosferi je emajl. Činjenica da se takvi premazi gotovo nikad ne koriste za odobalne konstrukcije govori o njihovoj prirodi.

Osim njihove otpornosti na koroziju, premazi moraju biti u stanju lako se nanositi na površinu na različitim dimenzijama i oblicima sekcija i moraju biti razmjerno jeftini, a ta svojstva ne posjeduje staklasti emajl [8].

### 5.2.2. Odabir materijala

Općenito, pristup zaštiti od korozije za ugljične čelike treba biti u kombinaciji sa drugim metodama zaštite kao što su inhibitori, katodna zaštita i prevlake, a sami odabir otpornijeg materijala umjesto ugljičnog čelika je neekonomičan. Drugi faktori od korozijske otpornosti mogu također igrati važnu ulogu, kao npr. oblikovanje, modeliranje, lijevanje itd. Ugljični čelik je najjeftiniji od svih konstrukcijskih materijala.

Za ograničen broj malih komponenti ili za neke dijelove koji moraju biti jako precizni, cijena nije najvažnija kod izbora materijala. Za velike komponente i konstrukcijske dijelove, cijena materijala je najvažniji faktor pri izboru materijala i općenito materijali otporniji na koroziju koristit će se samo u iznimnim situacijama. Metali koji formiraju zaštitne filmove koji štite od korozije u svom sastavu uglavnom sadrže Cr, Al, Ti i Ni te legure kao što su nehrđajući čelici „Monel“ i „Inconel“ sadrže visok udio takvih metala kao legirajućih elemenata, koji tvore zaštitne filmove.

### 5.2.3. Katodna zaštita

Kad su spojeni zajedno različiti metali i legure u elektrolitu, jedan član spoja od njih će korodirati većom brzinom, dok će drugi član biti zaštićen. Čelici obično korodiraju većom brzinom pod ovakvim okolnostima, ali kad su spojeni s određenim metalom, posebice aluminijem, magnezijem i cinkom, čelik je zaštićen, a ostali metali korodiraju. U praksi, velike metalne konstrukcije mogu biti zaštićene postavljanjem metala koji imaju niži korozijski potencijal na konstrukcije. Čelik i anodni materijal moraju biti uronjeni u elektrolit koji ima dobru vodljivost. Slični rezultati mogu se postići puštanjem struje tako da potencijal čelika bude manji od 0,56 V u usporedbi sa standardnom vodikovom elektrodom.

### 5.2.4. Kontrola okoliša

Kontrola okoliša iako je važna ima ograničenu primjenu u morskom okolišu. Ako se okoliš može promijeniti tako da bude manje korozivan prema metalima koji su mu izloženi ova metoda se preporuča. Ova metoda je općenito primjenjiva u zatvorenim prostorijama i zatvorenim sustavima.

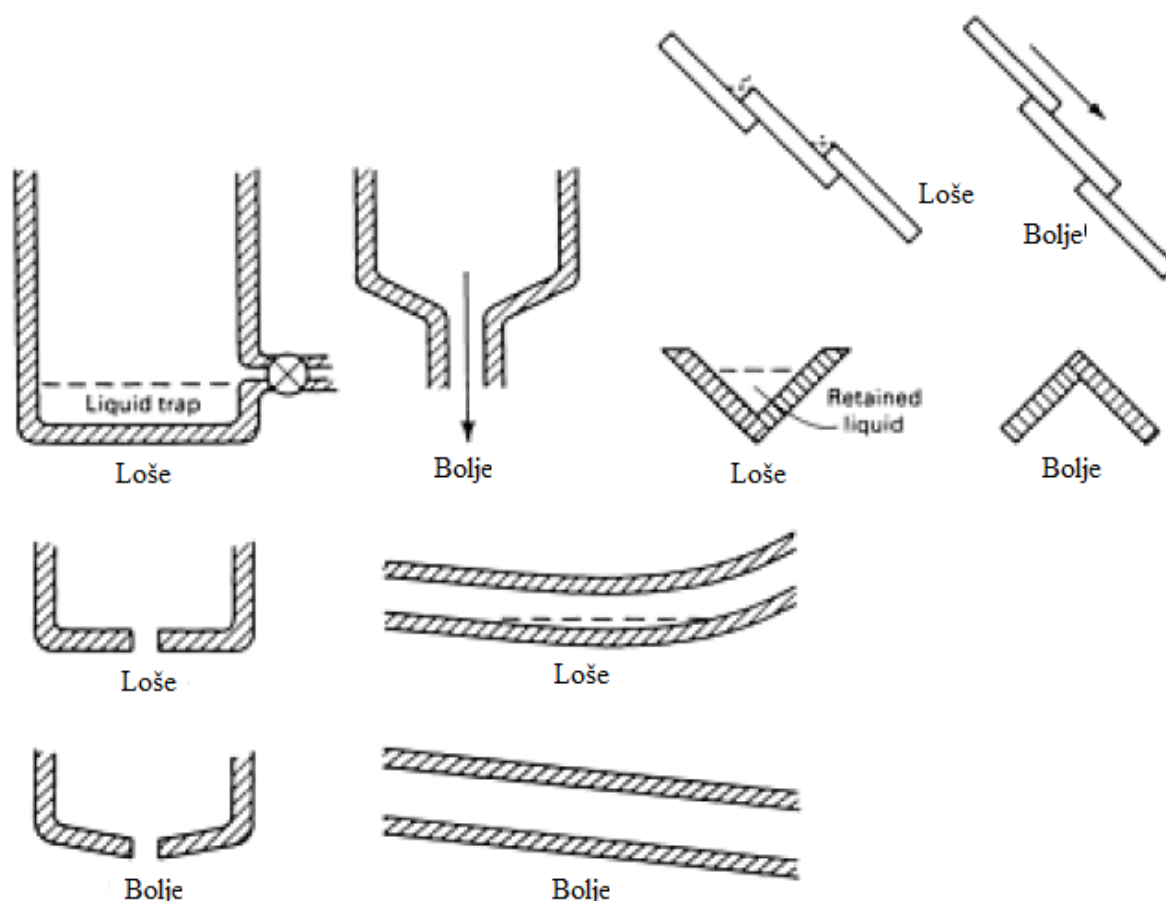
Kontrola korozije na ovaj način može se koristiti u nekim otvorenim vodenim sustavima za koje se smatra da je isplativije kontrolirati korozivnost okoliša od drugih metoda kontrole.

Osim svoje upotrebe u konstrukcijama, postrojenjima i objektima, metoda se široko primjenjuje u ambalaži za kontrolu korozije npr. za transport.

### 5.2.5. Konstruiranje

S točke gledišta prema korozivnoj zaštiti, konstruiranje se može razmatrati kao pravilno planiranje i izvršavanje projekta. To pokriva izbor materijala i izbor odgovarajućih mjera kontrole unutar općeg konstrukcijskog projekta. Bez sumnje, ispravno planiranje i projektiranje za metode kontrole korozije bi osiguralo lakše rješavanje problema korozije. Pravilnim konstruiranjem se može izbjeći korozija na nekim mjestima.

Većina konstrukcija proizlazi iz zahtjeva da konstrukcije budu strukturno stabilne i estetski prihvatljive. Međutim, za vrijeme konstruiranja, treba razmotriti utjecaj okoliša na buduće konstrukcijske performanse. Na slici 11 su prikazani neki načini kako se može izbjeći korozija pravilnim konstruiranjem. Detalji koji mogu utjecati na lokalnu koroziju uglavnom se mogu riješiti na „crtacoj ploči“, tj. pri konstruiranju treba voditi brige kako bi se izbjeglo zadržavanje vode na konstrukciji, olakšati pristup budućem održavanju, omogućiti drenažu. Obraćanje pozornosti na takve značajke poboljšati će performanse i metala i premaza.



Slika 10. Prikaz kako konstruiranje može utjecati na koroziju [8]

Metoda zaštite	Okoliš	Uronjeni dio		Atmosfera	
		otvoren	zatvoren	otvoren	ograđen
Prevlake		●	●	●	●
Inhibitori		○	●	×	●
Sredstva za sušenje		×	×	×	●
Prilagodba okoliša		○	●	×	●
Katodna zaštita		●	●	×	×
pH kontrola		×	●	×	×
Otporni materijali		●	●	●	●
Konstrukcija		●	●	●	●

●, Mogu se koristiti ○, Tehnički moguće ali neekonomično ×, Ne korist se

Slika 11. Metode zaštite u morskoj atmosferi [8]



## 6. Katodna zaštita odobalnih postrojenja

S obzirom da je korozija najčešće elektrokemijski proces, logičnim se čini odabir elektrokemijske metode zaštite kako bi se kontrolirala ili spriječila korozija. Katodna zaštita upravo na takav način štiti odobalne konstrukcije od korozije. Ova metoda nije nova i koristi se preko 150 godina kad ju je Sir Humphry Davy predložio kao metodu sprječavanja korozije kod bakrenih obloga koje su se koristile za zaštitu drvenih trupova brodova. Ploče cinka bile su postavljene na bakrene obloge i to ih je štitilo od korozije. Metoda odmah nije imala široku primjenu. Do šire upotrebe katodne zaštite je došlo u posljednjih tridesetak godina kako se tehnologija razvijala i kako su riješeni problemi koji su joj ograničavali veću primjenu [5].

Katodna zaštita je elektrokemijska metoda zaštite metalnih konstrukcija od korozije koja se zasniva na polarizaciji štice konstrukcije na katodne (negativne) potencijale pri kojima se na cijeloj konstrukciji odvija neškodljiva (katodna) elektrokemijska reakcija koju prikazuje jednačina (2).



Otapanje metala (anodna reakcija) odvija zanemarivo malom brzinom ili su uopće ne odvija. Takva reakcija je prikazana jednačinom (3) [13].



Katodna zaštita je jedna od najznačajnijih metoda zaštite od korozije u elektrolitima. Ona dopušta korištenje ugljičnog čelika koji ima mali prirodni otpor prema koroziji da se koristi u korozivnim okolinama kao što su more i kisela tla. Princip rada je takav da materijal koji se želi zaštititi spoji s metalom koji je na ljestvici elektrokemijskih potencijala negativniji, te se takav sustav mora nalaziti u elektrolitu.

Postoje dvije vrste katodne zaštite od korozije. Pomoću žrtvovane anode, kod koje su kad je zaštita čelika u pitanju žrtvovane anode najčešće od cinka, aluminija ili magnezija, ovisno o okolišu. Pri tome će se elektronegativniji metal otapati, a kad se istroši zamjeni se novim. Druga metoda se zove zaštita narinutom strujom i kod takve vrste zaštite anoda se ne troši, nego se troši struja  $I_e$  koja je narinuta pomoću posebnog uređaja [13].

## 6.1. Katodna zaštita pomoću žrtvovane anode

Metoda se temelji na direktnom električnom kontaktu dva različita metala uronjena u elektrolit. Na slici 12 prikazana je katodna zaštita žrtvovanom anodom. Ovaj je sustav s elektrokemijskog stajališta analogan korozijskom članku u kojem se anodna i katodna reakcija odvijaju na prostorno udaljenim površinama.

U elektrolitu ne postoje slobodni elektroni nego samo pozitivni i negativni ioni, tako da ti ioni vode električnu struju, a struja kroz elektrolit jednaka je struji u vanjskom strujnom krugu. Kako je smjer struje suprotan toku elektrona, u elektrolitu struja teče od anode prema katodi tj. pozitivni ioni vode struju. Pri tome elektropozitivniji metal postaje katoda, a elektronegativniji metal anoda. Struja koja teče između anode i katode ubrzava otapanje anode tako da je metal koji je izabran za anodu žrtvovan i mora se mijenjati nakon nekog vremena [14].



Slika 12. Prikaz katodne zaštite žrtvovanom anodom [15]

Za uspješnu zaštitu potrebna je pravilna raspodjela toka električne struje. Nejednaka raspodjela struje otklanja se upotrebom većeg broja pravilno razmještenih žrtvovanih anoda.

Prednosti primjene ove metode su:

- neovisnost o izvoru struje
- jednostavnost ugradnje
- nije potrebna redovna kontrola
- nezatni utjecaj na susjedne konstrukcije.

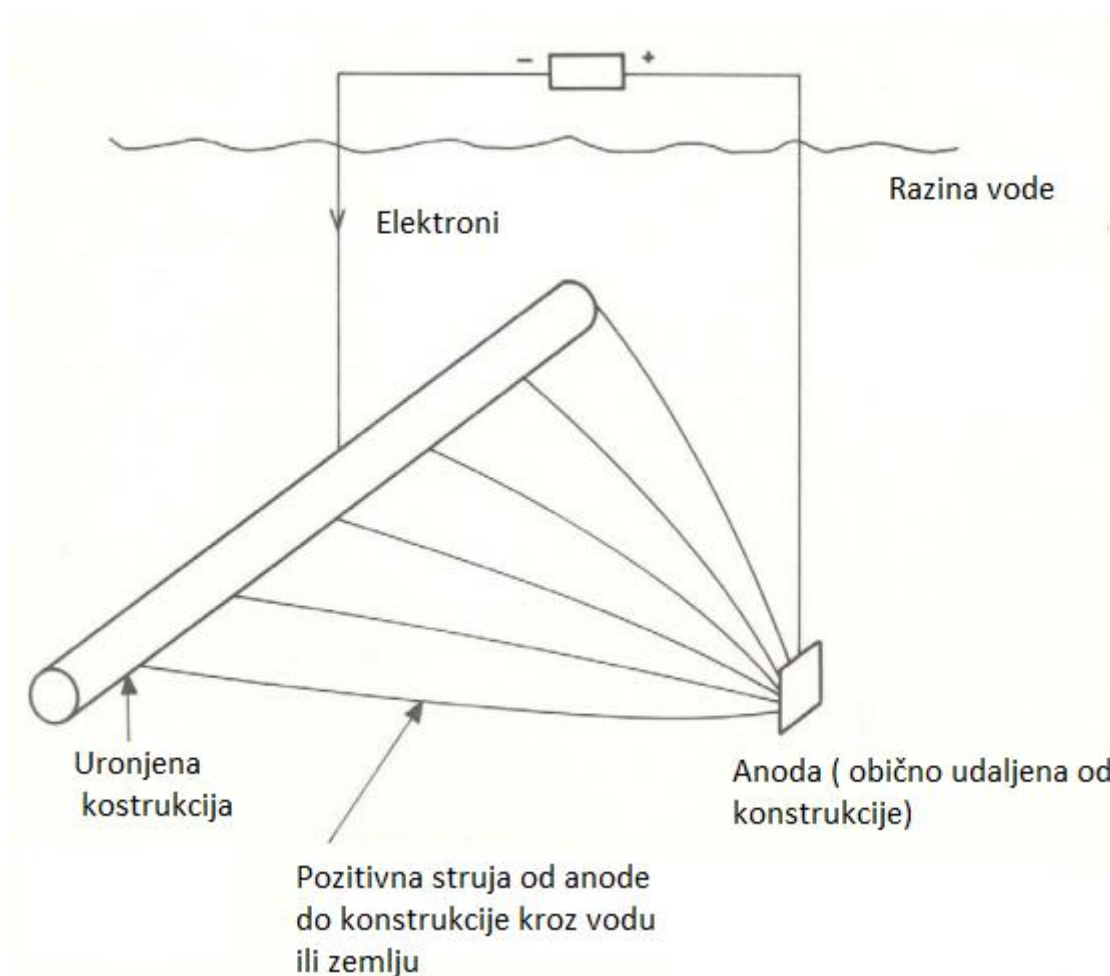
Nedostatci primjene ove metode su:

- nepovratni gubitak materijala anode i potreba za povremenim mijenjanjem anode
- zagađivanje okoliša od strane produkata korozije na anodi
- neprimjenjivost u sredinama s većim otporom
- relativno male struje zaštite.

## **6.2. Katodna zaštita pomoću vanjskog izvora struje**

Kod katodne zaštite sa vanjskim izvorom struje, anoda ne treba biti sama po sebi žrtvovana u sustavu zaštite od korozije. Anode su napravljene od nepotrošnog materijala koji je prirodno katoda prema materijalu koji se štiti. Kad bi takav sustav zaštite ostao bez vanjskog izvora struje korodirao bi objekt koji se štiti, a ne anoda. Zbog toga se tu koristi istosmjerni izvor struje (slika 13). Taj izvor struje poništava prirodni polaritet i dozvoljava materijalu koji je prirodno u sustavu katoda-anoda da se ponaša kao anoda.

Izvor struje služi kao ispravljač koji izmjeničnu struju pretvara u istosmjernu. Kod katodne zaštite s vanjskim izvorom struje, dobiva se zaštitna struja iz tog izvora i potencijal se pomiče prema vrijednosti gdje metal postaje pasivan. Elektroni teku vanjskim strujnim krugom, a u elektrolitu teče ionska struja. Anoda je od inertnog materijala što znači da se ne otapa [14].



Slika 13. Katodna zaštita s vanjskim izvorom struje i inertnom anodom [13]

### 6.3. Zaštita kod odobalnih postrojenja

Odobalna postrojenja su neobična zato što mnoga postrojenja nisu prevučena ispod vodene linije. Sustav katodne zaštite uzrokuje promjenu pH vode, tako da voda postaje više lužnata (veći pH). Većina minerala je manje topljiva u lužnatoj vodi u odnosu na neutralnije okruženje. Veći pH oko katode uzrokuje taloženje minerala na površini čelika što uzrokuje formiranje zaštitne barijere ili taloženje vapnenca. Ovisno o faktorima kao što je dubina vode, temperatura i strujanje nataložene zaštitne barijere mogu biti kalcijev karbonat, magnezijev hidroksid ili njihova mješavina.

Tehnologija katodne zaštite odobalnih postrojenja se značajno se promijenila. Mnoge od tih promjena se zahtijevaju zbog povećanja dubine vode. Odobalna postrojenja se sada grade u dubljim i hladnijim vodama gdje je manje vjerojatno da će se formirati mineralna naslaga.

Za formiranje mineralnih naslaga u takvim uvjetima zahtjeva se veća gustoća struje (od 1000 do 2000 mA/m<sup>2</sup>).

Drugi problem povezan sa dubinom vode u kojoj se postrojenje nalazi je da se zahtijevana gustoća struje mijenja s dubinom. Prošlih godina se došlo do saznanja da su neke platforme koje su radile na velikim dubinama ostale ne zaštićene. Sjeverno Američke platforme (Meksički zaljev i Santa Barbara) koje su bile postavljene na velikim dubinama, a predviđena zaštita je bila za srednje dubine. Plinovi se mnogo bolje tope na većim dubinama, a stvaranje naslaga karbonata je puno teže na velikim dubinama i hladnim vodama. Ovu činjenicu olakšava to što je u dubokim vodama manja količina otopljenog kisika pa bi stoga i korozivnost trebala biti manja. Mnogi upravitelji odobalnih postrojenja preporučuju korištenje žrtvovanih anoda na odobalnim postrojenjima jer je ovaj sustav jednostavniji. Osim toga žrtvovane anode započinju svoje zaštitno djelovanje odmah i ne ovise od vanjskoj opskrbi energijom.

Istraživanja o pouzdanosti sustava s narinutom strujom doveli su do zaključka da oni ne djeluju dobro kao sustavi sa žrtvovanim anodama. Jedan od razloga je i taj što ovi sustavi imaju lošu i krhku konstrukciju [15].

Nažalost, težina žrtvovane anode postaje veliki problem za platforme na velikim dubinama. Sustavi s narinutom strujom su zbog toga prihvatljiviji. Kod nekih platformi je zbog toga uveden hibridni sustav. Kod tog sustava primarna je zaštita narinutiom strujom, a sustav s žrtvovanom anodom se koristi nakon prekida dotoka struje ili prije nego što sustav s narinutom strujom bude operativan. Upotreba sustava katodne zaštite za uronjene dijelove je jako bitan, a njegova cijena je 1-2 % troškova nove platforme.

U zoni plime i oseke kao i u zoni zapljuskivanja, katodna zaštita nije učinkovita ili ima veoma ograničeno djelovanje. Primjena katodne zaštite u zoni zapljuskivanja ima ograničenja, jer da bi katodna zaštita bila uspješna oba člana električnog kruga moraju biti uronjena u elektrolit što nije slučaj kod zone zapljuskivanja [15].

Svojstva, prednosti i nedostaci metoda katodne zaštite prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Usporedba sustava za katodnu zaštitu [14]

Svojstva koja utječu na izbor sustava	Žrtvovane anode	Vanjski izvor struje
Održavanje	Praktički ga nema	Da
Troškovi instalacije	Srednji	Veliki
Anodna masa	Velika	Vrlo mala
Broj anoda	Veliki	Mali
Vijek trajanja	Ograničen	Velik
Izlazna struja	Ograničena, samoregulirajuća	Podesiva (ručno automatski)
Raspodjela zaštitne struje	Dobra, radi velikog broja anoda	Slabija radi manjeg broja anoda
Potrebna posebna kvaliteta premaza u blizini anoda	Općenito nije potrebna	Da, potrebne su posebne mjere
Cijena za uobičajenu duljinu zaštite	Povoljna za male objekte, preko 10 godina	Povoljna za velike objekte, preko 20 godina

Za sustav katodne zaštite na bušaćoj platformi važni su podaci o npr. temperaturi vode, vodljivosti, sadržaju kisika, brzini strujanja, kemijskom sastavu i biološkoj aktivnosti. Za dobivanje pouzdanih podataka treba mjerenja u području interesa provoditi kroz dulje vremensko razdoblje [14].

## 7. Zaštita prevlakama

Zaštita prevlakama služi kao granica prema agresivnom mediju. Prevlake mogu biti metalne i nemetalne, nemetalne prevlake mogu biti organske i anorganske. U primjeni zaštite čeličnih konstrukcija, najveću ulogu imaju nemetalne organske prevlake.

Postupci nanošenja metalnih prevlaka su metalizacija i platiniranje, a na podlogu se nanose fizikalnim ili kemijskim putem. Nemetalne anorganske prevlake nanose se fizikalnim postupcima, bez sudjelovanja podloge (prevlake emajla, betona) i kemijskim postupcima, sa sudjelovanjem podloge, gdje se površinski sloj metala mijenja u novi sloj jednog ili više oksida koji ima bolja antikorozivna svojstva. Organskim prevlakama se štiti tri četvrtine metalnih površina, a neke se površine moraju štititi isključivo organskim prevlakama. Sve prevlake koje organska tvar čini kompaktnima, nazivamo organskim prevlakama. Takvi slojevi se dobivaju premazivanjem i lakiranjem, podmazivanjem, plastifikacijom, gumiranjem i bitumenizacijom [16].

Nema jednostavnog pravila za odabir sustava zaštite od korozije u morskom okolišu ili bilo kojem drugom okolišu. Postoji mnoštvo materijala i sustava od kojih treba izabrati najbolje rješenje i jasno ne postoji opći dogovor o optimalnim sustavu zaštite za određeni dio postrojenja. Tako postoji i veliki broj različitih mišljenja o najboljem sustavu premaza za neki tip odobalnog postrojenja. Uzrok tome je različito iskustvo s određenim vrstama premaza, bilo loše ili dobro, te zbog utjecaja proizvođača premaza koji utječu na konstruktore kako bi odabrali baš određeni proizvod.

Osnovni sustavi premaza koji se mogu izabrati su [8]:

- organske prevlake
- metalne prevlake
- viskootporne prevlake
- plastične prevlake npr. PVC.

Kod uronjenih dijelova premazi se uglavnom koriste sa ili bez katodne zaštite, naravno katodna zaštita se može i sama koristiti.

Organske prevlake se uglavnom uzimaju kao prvi izbor kod zaštite odobalnih konstrukcija, jedino ako su nestabilne pod određenim uvjetima onda se odabiru druge vrste prevlaka.

Organske prevlake su obično najjeftinije prevlake što ima veliki utjecaj pri njihovom odabiru, ali ne nužno ako se tijekom dužeg vremena troškovi održavanja uzmu u obzir. Metalne prevlake mogu u mnogim slučajevima biti jeftine kao i organske, a trajati čak i duže [8].

Prevlake koje se koriste kod uronjenih konstrukcija imaju nešto veće zahtjeve nego ostale organske prevlake. Ove prevlake moraju biti otporne na apsorpciju vlage, prijenos vlage i na elektrokemijski uzrokovanu difuziju vlage kroz prevlake, također prevlake koje se koriste kod uronjenih konstrukcija moraju biti čvrste i imati dobru adheziju. Mnogi brodovi i postrojenja koja se koriste na moru koriste katodnu zaštitu kako dodatno osiguranje konstrukcija zaštićenih organskim prevlakama. Katodna zaštita je spomenuta jer je u stvarnosti nemoguće primijeniti i održavati sustav zaštite organskim prevlakama bez pojave grešaka pogotovo na velikim konstrukcijama. Kad se primjenjuje katodna zaštita uronjene prevlake moraju biti otporne na pojave koje se pojavljuju zbog katodnog potencijala i rezultirajuće alkalnosti tj. moraju biti otporne na katodno odvajanje [17].

Kako bi se učinkovito zaštitile uronjene konstrukcije organske prevlake moraju imati nisku propusnost za vlagu kao i slabu apsorpciju vlage. Općenito vrijedi pravilo, manja stopa propusnost vlage prevlake znači veća učinkovitost prevlake. Prevlake koje imaju veliku stopu propusnosti za vlagu ili lošu adheziju imat će veću vjerojatnost za oštećenje uzrokovano katodnom zaštitom. Prevlake koje se primjenjuju za odobalna postrojenja moraju biti čvrste. Većina oštećenja kod sustava premaza je mehanička, a ne zbog izlaganja premaza morskoj vodi. Prevlake koje su uronjene moraju imati dobru otpornost prema udarcima i abrazijskom oštećenju te moraju biti dovoljno fleksibilne kako bi održavali kontakt sa čeličnom podlogom kod savijanja zbog udarca ili naprezanja. Oštećenje zbog struganja sajli od sidra, lanaca i konopaca kao i oštećenja zbog tereta, rada i vezivanje uglavnom glavni su uzroci oštećenja kod prevlaka koje su nedovoljne čvrstoće [17].

Mnoge vrste organskih premaza se mogu koristiti pri zaštiti uronjenih konstrukcija, ali većina organskih premaza koji se koriste za zaštitu su katran-epoksidni premazi i epoksidni premazi visoke površinske čvrstoće. Ograničenja katran-epoksidnih premaza uzrokuju smanjenje njihove upotrebe.

Katran-epoksidni premazi su uvedeni 1955. i postali su najčešće korišteni premazi za postrojenja u morskom okolišu. Ovi duromerni premazi mogu se primjenjivati na različitim temperaturama i mogu imati različite načine kemijskog otvrdnjavanja.



Katran-epoksidni premazi zahtijevaju dobru pripremu površine, te veoma dobro prijanjaju i otporni su na habanje. Glavni nedostatak ovih premaza je to što su krhki i ne mogu se primjenjivati na fleksibilnim konstrukcijama, te ekološka ne prihvatljivost.

Epoksidni premazi visoke površinske čvrstoće (ne sadrže katran) komercijalno su dostupni dulje nego katran-epoksidni premazi. Epoksidi se obično primjenjuju kao tanje prevlake i mnogo su skuplji nego katran-epoksidni premazi. Koriste za uronjene konstrukcije zbog svojih dobrih performansi. Oni su zamijenili kolrirane gume za većinu pomorskih primjena i dostupni su u različitim u poliamidnim ili amidnim sastavima [17].

## 7.1. Organske prevlake

Organski prevlake nanose se na metalne površine obično u dva ili više slojeva koji čine sustav premaza, a to su:

- bojenje i lakiranje
- plastifikacija
- gumiranje
- bitumenizacija
- konzervacija.

Organskim se prevlakama smatraju sve one prevlake koje čini kompaktnima organska tvar tvorbom opne. Takvi se slojevi dobiju nanošenjem organskih premaznih sredstava (bojanjem i lakiranjem), uobičajenim podmazivanjem, plastifikacijom (prevlačenjem plastičnim masama), gumiranjem i bitumenizacijom.

### 7.1.1. Organski premazi

Izraz boje i lakovi rabi se i za premazna sredstva i za gotove prevlake nastale njihovim sušenjem. One se također nazivaju naličima ili premazima. Sva premazna sredstva sadrže vezivo, koje čini opnu prevlake, i razrjeđivač, koji obično otapa vezivo, a regulira viskoznost. Osim toga premazna sredstva mogu sadržavati netopljive prahove (pigmente i punila) koji daju nijansu i čine premaze neprozirnim, kao i različite dodatke (aditive). Lakovi mogu biti prozirni, a ako su pigmentirani, razlikuju se od boja većom glatkoćom, sjajem i tvrdoćom prevlake.

Boje i lakovi se najčešće nanose višeslojno, a svrha im je većinom zaštitno-dekorativna. Organska premazna sredstva se razvrstavaju na nekoliko načina, među kojima nijedan ne definira dotično sredstvo u potpunosti.

Glavni su načini razvrstavanja premaznih sredstava [18]:

- prema sastavu, pri čemu se podjela obično osniva na vrsti veziva, ali ponekad i na vrsti pigmenta, odnosno razrjeđivača/otapala
- prema osnovnoj svrsi (sredstva za zaštitu od korozije, od mehaničkog oštećivanja, od požara, od biološkog obraštanja, sredstva za dekoraciju, za električnu izolaciju itd.)
- prema izgledu (bezbojne i različito obojene, mutne i sjajne, prozirne i neprozirne boje i lakovi, lakovi za postizanje dojma sjajnog ili kovanog metala, mrežkanja itd.)
- prema podlogama koje se nanose (crni i obojeni metali, građevinski materijali, drvo itd.)
- prema broju sastojaka koji se miješaju prije nanošenja (jedno-, dvo-, i višekomponentna premazna sredstva)
- prema ulozi u premaznom sustavu (temeljna, međuslojna i pokrivna premazna sredstva, kitovi itd.)
- prema načinu skrućivanja sloja (fizičko isparavanje razrjeđivača/otapala, odnosno kemijsko otvrdnjavanje reakcijama u vezivu ili s vezivom).

#### **7.1.1.1. Komponente premaza**

Svaki premaz čine vezivo, otapalo/razrjeđivač, pigment, punilo i aditivi.

Vezivo čini opnu prevlake, a kao organske tvari u tekućem ili praškastom stanju, povezuju sve komponente premaznog sredstva te nakon nanošenja stvaraju tvrdi zaštitni sloj. Od brojnih veziva, važno je istaknuti ona na bazi sušivih masnih ulja, poliplasta, derivata celuloze, prirodnih smola, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bituminoznih tvari. U primjeni ili za zaštitu obalnih i odobalnih postrojenja, kao veziva se najčešće koriste epoksidne smole, poliuretani, etilsilikati te klorkaučuk [18].

Otapala su hlapivi organski spojevi u kojima se vezivo otapa, ali pri tome ne dolazi do kemijskih promjena. Koriste se za postizanje određene viskoznosti premaza kako bi se ona mogla lakše nanijeti na površinu. Najčešće se koriste niskoviskozne i lako hlapive smjese na bazi alifatskih, aromatskih i kloriranih ugljikovodika, ketona, estera i alkohola.

Ti se organski spojevi koriste i kao razrjeđivači u pogledu snižavanja viskoznosti premaznih sredstava. Razlika između otapala i razrjeđivača je ta što se otapalo dodaje u boju pri proizvodnji, dok se razrjeđivač dodaje neposredno prije nanošenja po potrebi [18].

S obzirom da pri hlapljenju, otapala ispuštaju pare štetne za zdravlje ljudi, a koje su pri tome vrlo zapaljive i eksplozivne, postoji tendencija da se klasična otapala sve više zamjenjuju vodom.

Pigmenti su organske ili anorganske netopljive čestice u obliku praha, paste ili vlakana koje mogu biti obojene ili neobojene. Obično se već u proizvodnji raspršuju u premaznom sredstvu. Njima se postiže prozirnost, odnosno obojanost površine, a poboljšavaju i zaštitno djelovanje, otpornost na svjetlo i grijanje te mehanička svojstva samih premaza. Pigmenti mogu imati nekoliko funkcija: dekorativnu, antikorozijsku te pigmenti s objema funkcijama. S obzirom na mehanizam zaštitnog djelovanja mogu biti: aktivni (temeljni premaz) i inertni (u svim premazima zaštita se zasniva na barijernom učinku) [18].

Punila su anorganske tvari, bijele ili slabo obojane, netopljive u primijenjenom mediju. Njihovim dodavanjem u premaze poboljšavaju se mehanička svojstva, mazivost i svojstva tečenja, smanjuje se ili povećava sjaj, poboljšavaju se barijerna svojstva filma (povećava se otpornost filma prema difuziji vode i agresivnim plinovima). Prema kemijskom sastavu dijele se na sulfate, karbonate, okside i silikate, a dobivaju se iz prirodnih minerala ili sintetskim taloženjem iz vodenih otopina [18].

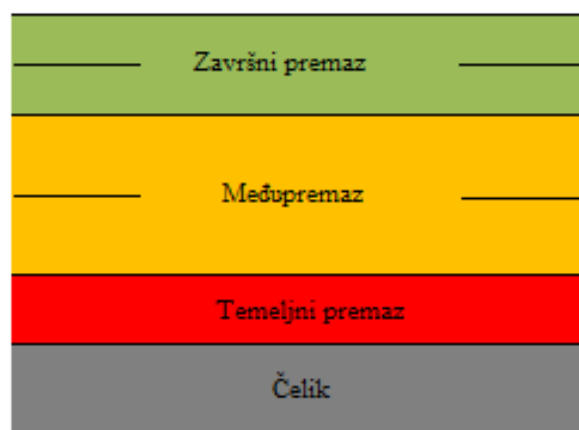
Aditivi se koriste za postizanje specifičnih svojstava ili kako bi se spriječili nedostaci premaza. Aditivi unatoč malom udjelu imaju značajan utjecaj na svojstva. Oni mogu biti: disperzanti i okvašivači, reološki aditivi, aditivi protiv pjenjenja, katalizatori i sušila, svjetlosni stabilizatori, korozijski inhibitori, aditivi za poboljšanje izgleda površine.

#### **7.1.1.2. Sustav premaza**

Višeslojni sustav premaza dijeli se na temeljni premaz, međupremaze te završni premaz. Temeljni premazi osiguravaju dobru prionjivost na podlogu i zaštitu od korozije, a nanose se izravno na metale. Zaštita se ostvaruje aktivno i pasivno. Aktivan način zaštite postiže se kočenjem ionizacije metalne podloge (inhibicija, neutralizacija agresivnih sastojaka medija ili katodna zaštita), dok se pasivni način zaštite postiže filmom koji odvaja metal od korozivnog medija. Aktivna zaštita metala temeljnim premazima zasniva se na djelovanju pigmenata koji čine uglavnom preko 80 % masenog udjela premaza.

Najvažnije značajke temeljnog premaza su: prionjivost (jaka veza s podlogom), kohezija (velika čvrstoća sloja), inertnost (korozijska otpornost i otpornost na kemikalije), jaka veza s međupremazom te elastičnost. Međupremaz povećava debljinu filma i poboljšava zaštitni učinak sustava, a predstavlja vezu između temeljnog i završnog premaza. Listićavi pigmenti, posloženi paralelno s površinom, osiguravaju zaštitno svojstvo na način da otežavaju prodor vlage i kisika do podloge. Također, cilj im je osigurati povećani električni otpor i jaku koheziju [18].

Zahtjeve u pogledu nijanse boje, sjaja, lakoće čišćenja otpornosti na abraziju, a da pritom štite prethodne slojeve premaza od utjecaja okoline, ispunjavaju završni premazi. Završni premazi su nešto manje debljine od međupremaza, imaju veću gustoću i tvore čvrsti sloj. Njihov zadatak je i da sprječavaju obraštanje podvodnih dijelova konstrukcija, širenje požara ili onemogućavaju klizanje [18]. Na slici 14 je prikazan višeslojni sustav premaza.



Slika 14. Više slojni sustav premaza [18]

### 7.1.2. Plastifikacija

Plastifikacijom se na metalne i nemetalne podloge nanose prevlake od plastičnih masa veće debljine (obično 0,2-5 mm) koje se nazivaju i oblogama. Mnoge su takve prevlake po sastavu vrlo srodne premazima s poliplastičnim vezivima, ali se razlikuju od njih po tehnologiji nanošenja. Danas se primjenjuje se velik broj postupaka plastifikacije, među kojima su najvažniji; oblaganje lijepljenjem, vruće prskanje, nataljivanje, fluidizacija i elektrostatičko naprašivanje [18].

Lijepljenjem sa nanose plastične folije i ploče, i to najčešće na čelične podloge. Ljepilo mora biti kompatibilno s podlogom i s prevlakom, a redovito se izrađuje od istog ili srodnog poliplasta, od kojeg je i prevlaka, otapanjem u organskim kapljevinama koje lako hlape. Čvrsto prijanjanje osiguravaju dipolne molekule u prevlaci i lepilu. Stoga se za plastifikaciju lijepljenjem izravno rabe PVC i druge vinilne smole.

Plastifikacija lijepljenjem služi prije svega, za zaštitu unutrašnjosti posuda i vanjskih površina cijevi, i to pritiskanjem napetih folija ili ploča na podlogu s ljepilom pomoću valjka. Nepropusnost obloga od folija postiže se preklapanjem, a procijepe (fuge) između plastičnih ploča valja popuniti zavarivanjem ili prikladnim kitom. Termoplasti se zavaruju pri čemu kao dodatni materijal služe žice od omekšanog termoplasta koje se tale vrućim zrakom. Za vanjsko prevlačenje cijevi rabi se i tzv. bandažiranje, tj. ovijanje samoljepivim folijama.

Vruće prskanje poliplasta podudara se sa metalizacijom šopiranjem, tj. obavlja se nanošenjem kapljica ili toplinski omekšanih zrnaca na metalne i nemetalne podloge primjenom pištolja, kojem se privodi plastika u obliku praha ili žice, a ponekad i kao pasta od plastisola (smjese termoplasta i omekšivača). Za grijanje obično služi plamen acetilena i zraka, a za raspršivanje zrak. Podloge se često predgrijavaju plamenom bez privođenja poliplasta te se time postiže čvršće prijanjanje. Prskanje se izvodi nekoliko puta u slojevima debljine oko 0,3 mm. Kapacitet pištolja iznosi 2-10 kg/h, a prijanjanje zadovoljava ako je metalna ili betonska podloga fino i jednolično ohrapavljena. Neki se plastificirani predmeti naknadno griju iznad tališta termoplastičnih prevlaka, odnosno iznad temperature umrežavanja, kako bi se postigla što veća kompaktnost. Postoje pištolji za plastifikaciju bez grijanja plamenom, a potrebna toplina se dobiva infracrvenim svjetiljkama, elektronskim mlazom ili dielektričkim visokofrekventnim grijanjem.

Plastifikacija nataljivanjem obuhvaća sve metode s taljenjem poliplasta, ali se taj pojam najčešće odnosi na vruće oblaganje bez ljepila, pri čemu se poliplast djelomično rastali. Tehnološki postupak je sličan oblaganju lijepljenje, a provodi se valjanjem, pri čemu se vruća termoplastična, površinski modificirana traka spaja s aluminijskom ili čeličnom trakom. Takvi proizvodi nazivaju se laminat ili kaširana traka.

Plastifikacija fluidizacijom ili vrtložnim sinteriranjem (sraščivanjem) temelji se na uranjanju metalnog obradka predgrijanog 100-200 °C iznad tališta poliplasta u uskovitlani sloj nastao propuhivanjem zraka ili dušika kroz porozno dno radne posude na koji je nasut praškasti poliplast.

Plin se uvodi u donji dio posude, tj. u međuprostor između pravog i poroznog dna (gustog filtra od keramike ili stakla). Potrebno je oko 5-10 s da se na obratku taljenjem oblikuje prevlaka, a njezina debljina ovisi o temperaturi predgrijanja i toplinskom kapacitetu predmeta [19].

Elektrostatsko naprašivanje služi za plastifikaciju metalnih podloga. Ekološki je vrlo povoljno, osobito u usporedbi s postupcima ličenja bojama i lakovima s hlapivim organskim tvarima. Iz nanesenog praha prevlaka se oblikuje taljenjem pri 180-250 °C. Ako se radi s duromernim prahom ujedno se obavlja i kemijsko otvrdnjavanje. Prah se elektrostatičkom pištolju dovodi pneumatički, a neiskorišteni se dio (do 20 %) rekuperira pneumatičkim separatorima. Postupak se obavlja u zatvorenim prostorijama uz dodatne mjere opreza zbog mogućnosti nastajanja eksplozivne smjese plastičnog praha i zraka. Elektrostatičkim se naprašivanjem dobivaju glatki slojevi debljine 0,05-1,5 mm. Zbog velikih početnih investicijskih ulaganja kod uvođenja ovog postupka potreban je veliki proizvodni kapacitet kako bi se ulaganje isplatilo [19].

### 7.1.3. Gumiranje

Gumiranje se najčešće primjenjuje za zaštitu unutrašnjosti posuda i cijevnih dijelova postrojenja. Podloge su obično od fino i jednolično hrapavog ugljičnog čelika, a katkad i od sivog lijeva ili mjedi. Na druge metale guma ima loša svojstva prijanjanja. Najvažniji je način gumiranja oblaganje pomoću gumenog ljepila koje je jako slično plastifikaciji lijepljenjem. Ploče od meke gume ili ebonita (tvrde gume s više od 30 masenih % S) nanose se na ljepilo uz pritiskanje valjcima ili drugim alatom. Čvršće se prijanjanje postiže ako se ljepilo nanese i na metal i na gumenu ploču. Pri mekom gumiranju nepropusnost se postiže preklapanjem ploča, a pri ebonitiranju popunjavanjem procijepa između ploča gumenim kitom.

Redovito se gumira višeslojno tako da je debljina obloga 3-12 mm. Katkad se primjenjuju obloge od sirove gume (kaučuka), ali se u većini slučajeva vrši se naknadna vulkanizacija, čime se poboljšavaju svojstva.

Uz dodatak katalizatora vulkanizacija (otvrdnjavanje umrežavanjem) teče i bez grijanja, ali se najčešće obavlja između 70 °C i 150 °C vrućim zrakom ili vodom, odnosno vodenom parom tijekom 30 min do desetak sati. Ebonit je korozijski postojaniji od meke gume, ali je neotporan na udarce i nagle temperaturene promjene, pa se često ispod sloja ebonita nanosi meka guma [19].

#### 7.1.4. Premazi u zoni zapljuskivanja

Zona zapljuskivanja je složena zona za održavati, obično se zaštićuje organskim prevlakama visoke otpornosti, ali i njima postoje alternative, posebno kako raste mogućnost izbora određena ekonomskim faktorima. Najčešće se koriste sljedeće prevlake [8]:

- Obloge od legura koje su otporne na koroziju, obično su to obloge od legure s visokim udjelom nikla kao što je Monel 400, debljine oko 1 mm, koje se postavljaju oko cijevi koje se nalaze u zoni zapljuskivanja, te zavaruju i brtve, tako da ne dođe do prodiranja morske vode između obloge i površine koja se štiti.
- Debele gumene ili neoprenske prevlake.
- Povećana debljina čelika u zoni zapljuskivanja može se koristiti kako bi se nadoknadio gubitak zbog korozije i trošenja, a čelik se onda prevlači jednako kao i ostatak strukture.
- Organske prevlake se najčešće koriste kako bi se zaštitila zona zapljuskivanja. Koriste se različite vrste premaza. Prevlake su obično od iste vrste materijala kao i one koje se koriste u atmosferskoj zoni, ali se obično nanose većom debljinom. Prema NACE standardu RP-01-76, prikazano je da se organske prevlake ne mogu smatrati kao trajna zaštita u ovom području zbog oštećenja koje se pojavljuje uslijed abrazivnog djelovanja valova.

Zona zapljuskivanja je također najkompliciranija zona za održavanje i popravljavanje oštećenja na prevlakama, posebno nižih dijelova zone zapljuskivanja. Postupci održavanja ovise o prevlaci koja se koristi za zaštitu i količini oštećenja do kojeg je došlo. Područja gdje je premaz toliko oštećen da je potrebno potpuno skidanje premaza, postoje različiti postupci kako bi se to izvelo, ali svi ti postupci nisu potpuno idealni i teško su tehnički izvedivi, pa će na prepravljanim dijelovima prije doći do ponovne pojave korozije, zbog nemogućnosti ostvarivanja idealnih uvjeta kakvi se mogu postići u laboratorijima ili u radionicama. Neki od otežavajućih faktora pri nanošenju prevlaka je sol u atmosferi i ograničeno vrijeme nanošenja zbog djelovanja plime i oseke. Zaštitne prevlake trebaju biti postojane u uvjetima katodne polarizacije, trebaju biti otporne na UV zrake, na morsku vodu i obraštanje iz mora. Npr. za razliku od lučnih instalacija bušaće platforme su izložene dinamičkom mehaničkom opterećenju.

Radi toga se pri izboru čelika mora uzeti u obzir ne samo mehanička čvrstoća nego i otpornost na koroziju uslijed zamora [14]. Općenito, skidanje prevlake pjeskarenjem i ponovno prevlačenje se odvija za vrijeme oseke, za vrijeme dobrih vremenskih uvjeta.

Na nekim područjima je moguće očistiti ostatke starih premaza, hrđu itd. i ponovno premazati to područje sa epoksidnim premazom koji se brzo suši za vrijeme oseke. Najčešće je potrebno provesti grubo skidanje premaza jedan dan, a tek sljedeći dan slijedi fino čišćenje površine i nanošenje novog premaza.

U nekim slučajevima je moguće pjeskariti površinu i nanositi specijalne prevlake pod vodom. Ova metoda u nekim slučajevima može biti jako korisna. Ako se koriste nehrđajuće legure kao što je „Monel“ kao obloge, oštećenja se trebaju popraviti, tako da se ne onemogući prodiranje morske vode između obloga od „Monel-a“ i čelične konstrukcije, a spoj nakon popravka mora ostati dobro zabrtvljen. Oštećene prevlake od neoprana moraju se popravljati specijalnim tehnikama koje neće biti razmatrane u ovom radu.

Zoni zapljuskivanja rijetko ili gotovo nikad prijeti problem obraštanja i zbog toga u ovoj zoni nije potrebna dodatna zaštita od obraštanja. Dijelovi zone zapljuskivanja stalno se vlaže i suše te takvi uvjeti ne odgovaraju morskoj vegetaciji i mikroorganizmima za rast [8].



## 8. Eksperimentalni dio

Eksperimentalni dio diplomskog rada sastoji se od nanošenja različitih vrsta prevlaka na uzorke od niskougljičnog konstrukcijskog čelika, a koje se mogu koristiti za zaštitu odobalnih konstrukcija od korozije. Nakon nanošenja i sušenja prevlaka provedena su usporedna korozijska ispitivanja prevlaka kao što su ispitivanje korozijske otpornosti cikličkim uranjanjem u morsku vodu, ispitivanja u slanoj komori sukladno normi HRN EN ISO 9227, te ispitivanja dugotrajnog uranjanja uzoraka u morskoj vodi. Po završetku ispitivanja uspoređeni su rezultati i dana je konačna ocjena svojstava zaštite.

### 8.1. Cilj i svrha ispitivanja

Cilj ovog ispitivanja je odrediti korozijski najbolji sustav zaštite odobalnih konstrukcija u području gdje je najagresivnija atmosferska korozivnost okoliša C5-M prema standardu ISO 12944, a koji je prikazan u tablici 3. Ispitivanje je provedeno u suradnji s hrvatskom naftnom kompanijom „INA“, a svrha ispitivanja je bila pronaći učinkovitiji sustav zaštite, koji se može brzo i učinkovito aplicirati na terenu u zoni zapljuskivanja gdje je slana atmosfera i ograničeno vrijeme nanošenja prevlake. Uspoređeni su uzorci koji su prevučeni prevlakama od proizvođača „Hempel“, a koji se trenutno koriste na INA-nim odobalnim konstrukcijama, sa novim prevlakama od proizvođača „Belzona“, „Stopaq“ te „Spencercoatings“.

## 8.2. Opis ispitivanih prevlaka

### 8.2.1. Prevlake od proizvođača „HEMPEL“

Prevlake od proizvođača „Hempel“ koje se trenutno koriste za zaštitu INA-nih odobalnih konstrukcija na Jadranu spadaju u višekomponentne vrste prevlaka, a sastoje se od temeljnog premaza, međupremaza i završnog premaza. Sustav prevlaka koji se nanosi na odoblane konstrukcije prikazan je u tablici 7. Nedostatak kod ovih prevlaka je relativno dugo vrijeme sušenja.

Tablica 7. Sustav koji se koristi u INA-i za zaštitu odobalnih konstrukcija [2]

Naziv premaza	Debljina premaza [μm]
Hempadur Zinc 17369	60
Hempadur Mastic 45880	200
Hempathane TC 55210	50

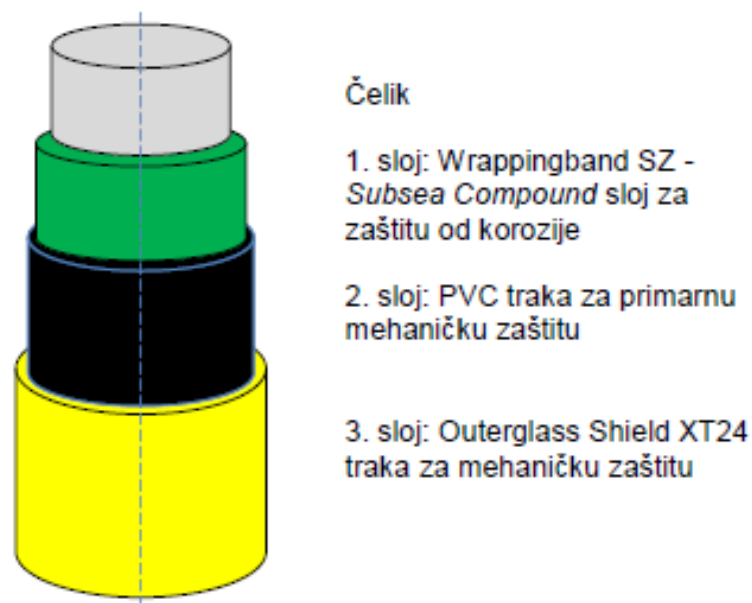
HEMPADUR ZINC 17360 je dvokomponentna, cinkom bogata, epoksidna temeljna boja. Otvrđnjavanjem prerasta u premaz izuzetno otporan na atmosferilije i habanje. Pruža katodnu zaštitu lokalnim mehaničkim oštećenjima. Preporuča se kao svestrana temeljna boja s prihvatljivim sadržajem HOS-a, za dugoročnu zaštitu čeličnih površina u srednje do jako korozivnoj sredini. Može se primjenjivati samo u suhim uvjetima do 160 °C [12].

HEMPADUR MASTIC 45880 je dvokomponentna epoksidna boja koja se skrućuje poliamidnim aduktom. Ima visok sadržaj suhe tvari a formulirana je za nanošenje u debelom sloju. Stvara otporan i izdržljiv premaz kojemu je svojstveno dobro kvašenje podloge. Otvrđnjava na niskim temperaturama. Preporuča se kao samostojeći sustav premaza kojemu nije potreban temeljni premaz i koji dobro podnosi nesavršeno pripremljenu površinu ili kao međupremaz te, konačno, kao završni premaz u sustavima premaza za teške uvjete rada tamo gdje se traži niski sadržaj HOS-a i nanošenje u debelom sloju. Višenamjenski premaz prema specifikaciji za održavanje i manje popravke uključujući tankove balasta i podvodnog dijela te novog čelika u onim slučajevima gdje zahtjev za manjim brojem premaza ima prevagu nad više specijaliziranim premazima [12].

HEMPATHANE TOPCOAT 55210 dvokomponentna je polusjajna poliuretanska lak boja na bazi akrilne smole a skrućuje se pomoću alifatskog izocijanata. Svojstveno joj je dobro zadržavanje sjaja i nijanse. Preporuča se kao završni premaz na konstrukcijskom čeliku u jako korozivnim atmosferskim uvjetima gdje se traži svojstvo dobrog zadržavanja sjaja i postojanost na svjetlost. Minimalna temperatura potrebna za otvrdnjavanje je  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  [12].

### 8.2.2. Prevlake od proizvođača „STOPAQ“

STOPAQ sustav za zaštitu od korozije zone zapljuskivanja sastoji se od tri sloja: temeljne viskozno-elastične prevlake na bazi poliolefina za podvodnu aplikaciju za zaštitu od korozije (Wrappingband SZ - Subsea Compound), međuslojne PVC prevlake i pokrivne prevlake ojačane staklenim vlaknima za mehaničku zaštitu (Outerglass Shield XT24); na slici 15 je prikazan sustav zaštite STOPAQ prevlakama [20].



Slika 15. Stopaq sustav zaštite trakama podvodnog dijela zone zapljuskivanja [20]

Primjena ovih prevlaka je na temperaturama od  $-45$  do  $+95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , te ima sposobnost da samostalno obnavlja oštećenja kao što su udubljenja i ogrebotine. Otpornost na udarna oštećenja se mogu poboljšati tako što se prevlake prekrivaju mehaničkim zaštitnim slojem od vinil estera ili sl.

### 8.2.3. Prevlake od proizvođača „BELZONA“

Belzona 5831 je dvokomponentni epoksidni premaz koji kad očvrstne služi za zaštitu opreme koja se koristi kod uronjenih konstrukcija ili onih u dodiru s vodenim otopinama. Ova vrsta premaza ne sadrži otapala, te prianja čvrsto za čelične i druge metalne i nemetalne površine kao što je beton ili opeka. Belzona 5831 ima karakterističnu formu za primjenu pri vlažnim uvjetima ili u uvjetima gdje su površine onečišćene naftom ili naftnim derivatima koje ne mogu biti suhe prilikom primjene, kao i za primjenu pod vodom. Premaz uklanja vodu s površine i osigurava maksimalnu adheziju na vlažnoj ili mokroj površini, čak i pod vodom [21].

Glavne prednosti ovih premaza su:

- jednostavna priprema
- primjena i otvrdnjavanje na sobnoj temperaturi
- otvrdnjavanje pod vodom
- smanjena štetnost za zdravlje i povećana sigurnost, ne sadržava otapala
- odlično prianjanje u vlažnim uvjetima
- primjenjivo i na masnim površinama
- štiti od galvanske korozije
- odlično prianja na mnoge metalne površine uključujući čelik, Cr-Ni čelik i druge vrste čelika kao i na nemetalne površine kao što je beton ili opeka.

U tablici 8 prikazani su tehnički podatci za prevlake od Belzone.

Tablica 8. Tehnički podatci za premaz Belzona 5831 [21]

Vrijeme primjene na temperaturi od 20 °C	45 minuta
Vrijeme potrebno za potpunu primjenu	5 dana
Stopa prekrivenosti	Praktična stopa prekrivenosti za dvokomponentni premaz je: 2,9 m <sup>2</sup> po litri
Vlačno smicanje (ASTM D1002)	13,86 MPa na zamašćenoj površini
Otpornost na raspršenu sol	Prevlake ne pokazuju pojavu mjehura ili korozije i nakon 2000 sati izloženosti
Tipična primjena	Korozijska zaštita za vlažne ili zamašćene površine, primjena i kod uronjenih površina.

#### 8.2.4. Prevlake od proizvođača „SPENCERCOATINGS“

Acothane Mastic Standard Grade je dvokomponentni poliuretanski premaz koji ne sadrži otapala. Koristi se s „acothane“ sustavom za popravak oštećenih prevlaka, za prevlačenje zavara i popunjavanja rupa i pukotina. Ova vrsta prevlaka se brzo skrućujuće te se koristi kao zaštitni sustav za mala područja. U tablici 9 prikazani su tehnički podatci ovih prevlaka [22]

Tablica 9. Tehnički podatci prevlake Acothane Mastic Standard Grade [22]

Otvrdnjavanje	Acothane/Poliuretanski aktivator
Volumni omjer	3 baza : 1 aktivator
Udio suhe tvari u volumenu	100 %
Preporučena debljina filma	1-5 mm
Stopa prekrivenosti	1 m <sup>2</sup> po litri za debljinu prevlake od 1 mm
HOS	0 g/l
Vrijeme sušenja (20 °C)	Suho na dodir: 2 sata
	Otvrdnjavanje: 8 sati
	Potpuno suho: 7 dana

### 8.3. Priprema uzoraka

Uzorci su podijeljeni u dvije grupe prije nanošenja prevlaka:

- 1. grupa: uzorci kod kojih je površina bila odmašćena i s čije su površine uklonjeni svi produkti korozije i okujina (slika 16).
- 2. grupa: uzorci koji su bili uronjeni u vodenoj otopini koja sadrži 3,5 % NaCl-a te su sušeni na okolišnoj temperaturi 30 min kako bi se dobila slana površina i produkti korozije na površini koja se treba štiti. Na taj se način željelo simulirati uvjete nanošenja prevlaka u slanoj atmosferi na terenu, te u zoni zapljuskivanja (slika 17).



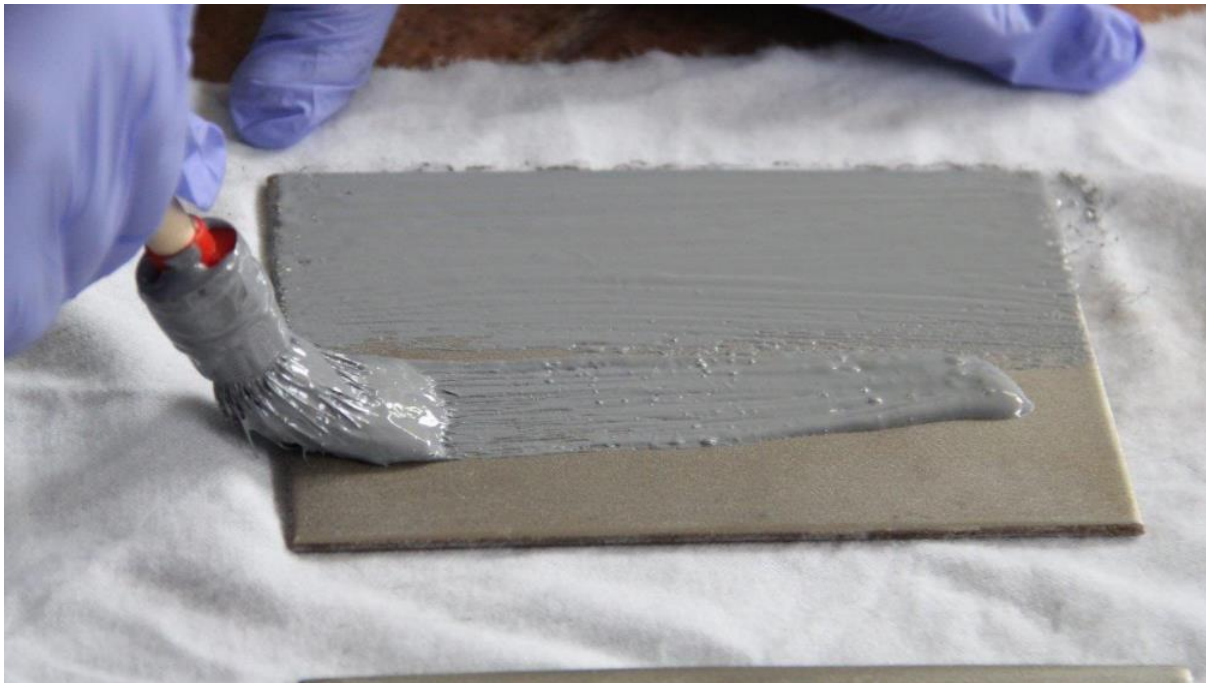
Slika 16. 1. grupa uzoraka (očišćeni i odmašćeni)



Slika 17. 2. grupa uzoraka (uronjeni u vodenu otopinu 3,5 NaCl i 30 minuta sušeni na okolišnoj temperaturi)

Svaka grupa se sastoji od 8 pločica i 4 cijevi, te se po jedna pločica/cijev iz svake grupe koristila za svako ispitivanje (slana komora, cikličko uranjanje, uronjeni uzorci u morskoj vodi).

Nakon pripreme površine metala slijedilo je nanošenje prevlaka. Nanošenje se izvodilo prema uputama proizvođača pri sobnim uvjetima. Na slici 18 je prikazano nanošenje Belzone na pločice prije ispitivanja.

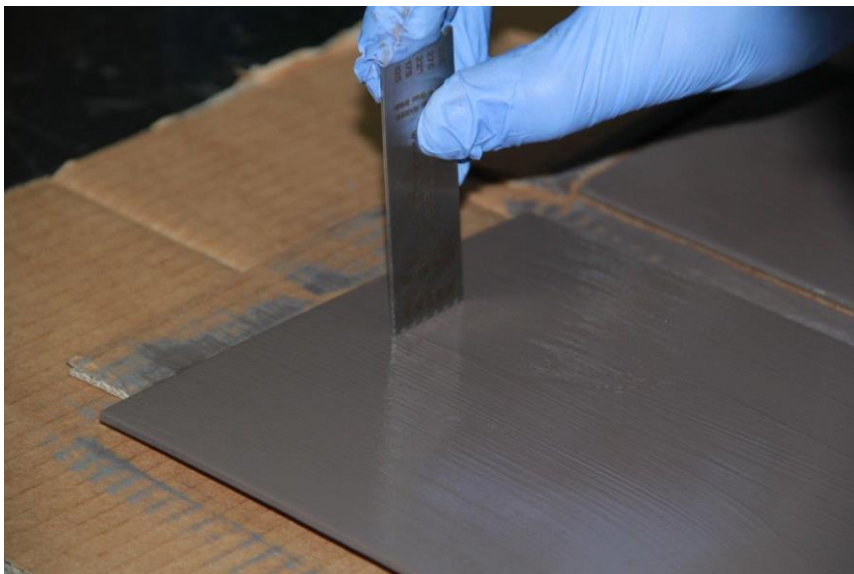


Slika 18. Nanošenje premaza od Belzone na pločice

Za različite premaze bilo je potrebno i različito vrijeme nanošenja kako bi se ispunili zahtjevi proizvođača. Za prevlake od STOPAQ-a bilo je potrebno dva sata kako bi se zaštitili svi uzorci, za prevlake od BELZONE bilo je potrebno 2 dana (dan za svaki sloj), za premaz od HEMPEL-a je potrebno 4 dana kako bi se postigla potrebna debljina, a uzorke od SPENCERCOATING-a je dostavio proizvođač.

Tijekom nanošenja premaza i nakon nanošenja mjerena je debljina mokrog i suhog filma. Mjerenje je prikazano na slikama 19 i 20. Mjerenje debljine mokrog filma provedeno je s mjernim češljem od nehrđajućeg čelika (slika 19). Sukladno normi EN ISO 2808 provedeno je mjerenje debljine na svim uzorcima prije korozijskih ispitivanja. Provedeno je po deset mjerenja za svaki uzorak uređajem QuaNix 1500 (slika 20).





Slika 19. Mjerenje debljine mokrog filma češljem



Slika 20. Mjerenje debljine suhog filma uređajem QuaNix 1500



U sljedećoj tablici prikazane su prosječne debljine suhog filma.

Tablica 10. Prosječne debljine suhog filma

Uzorak	Debljina filma [ $\mu\text{m}$ ]
Belzona 1	581
Belzona 2	586
Belzona 3	538
Belzona 4	543
Hempel 1	311
Hempel 2	286
Hempel 3	319
Hempel 4	331
Spencercoating 1	1000
Spencercoating 2	2000
Spencercoating 1	1000
Spencercoating 2	2000

## 8.4. Ispitivanje prionjivosti

Jedna od osnovnih karakteristika svakog premaza je njegova prionjivost za podlogu ili za premaz u sustavu. Prionjivost premaza utječe na to kakva će biti njegova kvaliteta zaštitnog djelovanja, kao i dužina vijeka trajanja zaštite premaza.

### 8.4.1. Ispitivanja prionjivosti Cross-cut metodom

Prianjanje sloja premaza na podlogu određuje se metodom mrežice (Cross-cut test) prema normi ISO 2409. Ispitivanje se sastoji u tome da se ureže u premaz 2 x 6 ureza pod pravim kutom, te se odgovarajućom četkom se uz lagani pritisak prijeđe preko ureza u oba smjera, prilijepi ljepljiva vrpca i nakon otkidanja vrpce promatra se udio slobodne površine.

Stupanj prijanjanja određen je promatranjem prijanjanja kvadratića urezane mrežice na podlogu. Tablica 11 prikazuje kako se razvrstavaju rezultati testa prionjivosti po različitim normama.

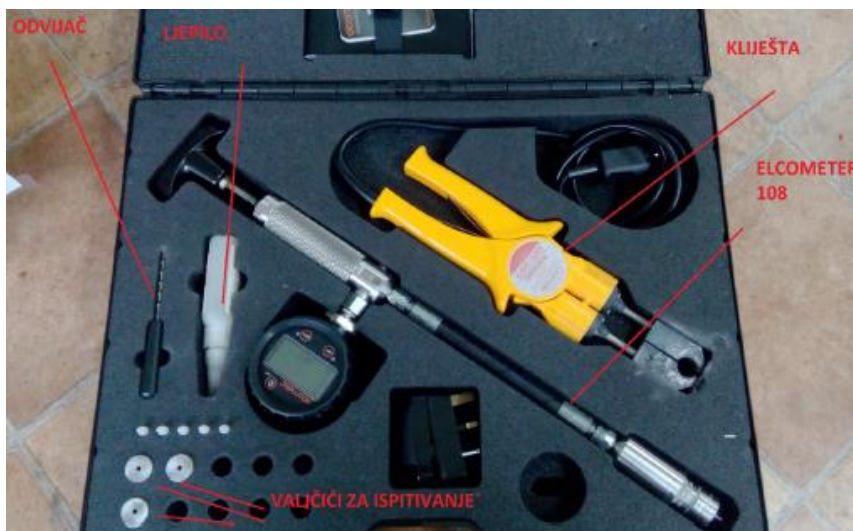
Tablica 11. Razvrstavanje rezultata testa prionjivosti [23]

Opis	ISO 2409	DIN 53151	ASTM D-3359
Tragovi rezova su potpuno glatki, nijedan kvadratić mrežice nije otkinut.	0	G0	5B
Nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5 % površine je oštećeno.	1	G1	4B
Dio premaza je oljušten na rubovima i sjecištima u mrežici. 5 do 15 % površine je oštećeno.	2	G2	3B
Premaz je oljušten duž rubova i unutar kvadratića mrežice. 15 do 35 % površine je oštećeno.	3	G3	2B
Premaz je oljušten duž rubova cijelog reza, neki kvadratići su potpuno oljušteni. 35 do 65% površine je oštećeno.	4	G4	1B
Više od 65% površine je oljušteno.	5	G5	0B

Rezultati ispitivanja ovom metodom prikazani su u tablicama 12, 13, 14, 15, 21, 22, 23 i 24.

#### 8.4.2. Ispitivanje prionjivosti Pull-off metodom

Ispitivanje prionjivosti premaza, tzv. Pull-off ispitivanje, u skladu s normom EN ISO 4624:2002, temelji se na ispitivanju čvrstoće prijanjanja, odnosno na mjerenju vlačne čvrstoće premaza. Mjerenje je provedeno hidrauličkim uređajem Elcometer 108, a koji se sastoji od kontrolnog žiga s ravnom površinom od nehrđajućeg čelika, ljepila za pričvršćenje kontrolnog žiga na premaz te uređaja za očitavanje vlačne čvrstoće. Uređaj za Pull-off ispitivanje sa pratećom opremom prikazan je na slici 21.



Slika 21. Oprema za Pull-off ispitivanje, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB

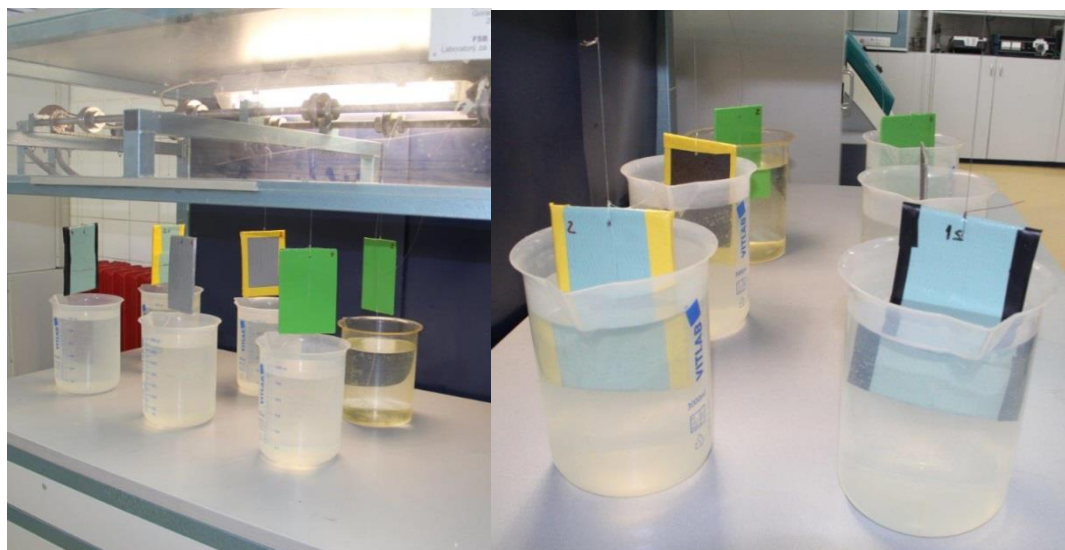
Rezultati ispitivanja ovom metodom prikazani su u tablicama 12, 13, 14, 15, 21, 22, 23 i 24 .

#### 8.4.3. Ispitivanje prionjivosti X –cut metodom

Prianjanje sloja premaza na podlogu određuje se metodom X - reza (X-cut test). Ispitivanje se izvodi tako da se na uzorcima naprave dva ureza u obliku slova X oko 4 cm dužine i pod kutem između 30 i 45°. Rez treba biti kroz premaz u jednom potezu kako bi se dobili točni rezultati. Nakon toga se preko reza nalijepi ljepljiva vrpca i nakon otkidanja vrpce promatra se udio slobodne površine, kao i kod Cross-cut metode.

### 8.5. Ispitivanje uzoraka cikličkim uranjanjem





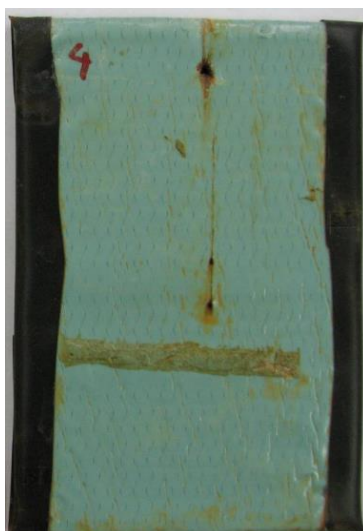

Ovo ispitivanje je provedeno sukladno normi ASTM G44, a počelo je 16.11.2016. u 11h, te je završeno 11.1.2017 u 9 h (1342 h). Prilikom ispitivanja su uzorci držani uronjeni 10 minuta u 3,5 %-tnu vodenu otopinu NaCl-a, a 50 minuta su se sušili na slobodnoj atmosferi (slika 22), te je taj proces trajao 650 h, a ostatak vremena ispitivanja uzorci su bili cijelo vrijeme uronjeni u vodenoj otopini 3,5 % NaCl. Ciklus se neprekidno ponavljao 24 sata za vrijeme cijelog vremena ispitivanja. Sama metoda je široko primjenjiva i daje dobre rezultate u pogledu procjene otpornosti antikorozivne zaštite u promjenjivim okolišnim uvjetima i najbolje simulira zonu zapljuskivanja. Uzorci od Spencercoating-a su dodani sa dva dana zakašnjenja te su ispitivani na identičan način.



Slika 22. Ispitivanje cikličkim uranjanjem







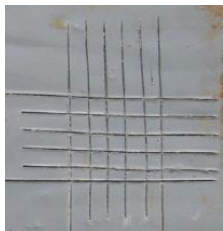
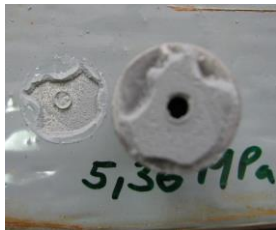
U sljedećim tablicama prikazani su uzorci prije i nakon ispitivanja.

Tablica 12. Rezultati ispitivanja uranjanjem na prevlake od proizvođača STOPAQ-a



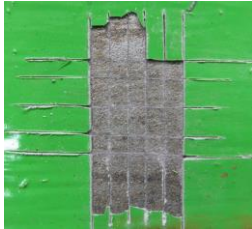
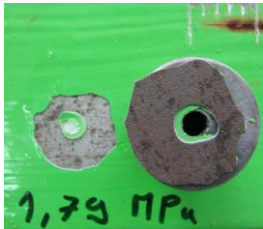
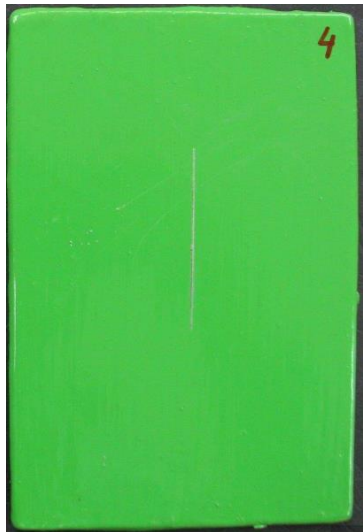

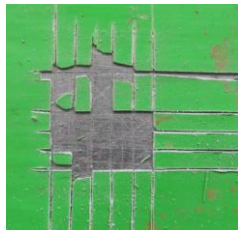

Uzorci od STOPAQ-a		
Prije	Poslije	Cross-cut ispitivanje
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza i korozije podloge</p>	 <p>Prionjivost zadovoljava</p>
		<p>Pull off ispitivanje za prevlake od STOPAQ-a nije provedeno</p>
		<p>Prije nanošenja prevlake uzorak bio uronjen u otopinu 3, % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije</p>
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza i korozije podloge</p>	 <p>Prionjivost zadovoljava.</p>
		<p>Pull off ispitivanje za prevlake od STOPAQ-a nije provedeno.</p>
		<p>Prije nanošenja uzorak odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune</p>









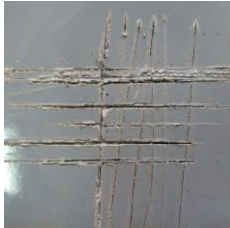
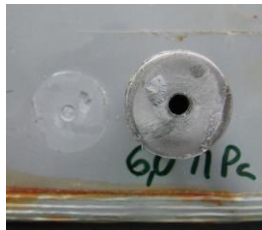
Tablica 13. Rezultati ispitivanja uranjanjem na prevlake od proizvođača Belzona

Uzorci od Belzona-e		
Prije	Poslije	Cross-cut i pull off ispitivanje
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza</p>	 <p>Potpuni gubitak prionjivosti, ocjena 5</p>
		 <p>Ne zadovoljava, prionjivost je ispod 5 MPa</p>
		Prije nanošenja prevlake uzorak bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza i korozije podloge</p>	 <p>Prionjivost zadovoljava, ocjena 1</p>
		 <p>Prionjivost zadovoljava</p>
		Prije nanošenja uzorak odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune

Tablica 14. Rezultati ispitivanja uranjanjem na prevlake od proizvođača Hempel

Uzorci od Hempel-a		
Prije	Poslije	Cross-cut i pull off ispitivanje
	  Nije došlo do mjehuranja premaza	  Potpuni gubitak prionjivosti, ocjena 5
		  Ne zadovoljava, prionjivost je ispod 5 MPa
		Prije nanošenja prevlake uzorak bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije
	  Nije došlo do mjehuranja premaza	  Prionjivost ne zadovoljava (lokalno)
		  Zadovoljava, prionjivost je iznad 5 MPa
		Prije nanošenja uzorak odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune

Tablica 15. Rezultati ispitivanja uranjanjem na prevlake od proizvođača Spencercoating-a

Uzorci od Spencercoating-a		
Prije	Poslije	Cross-cut i pull off ispitivanje
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza i korozije podloge</p>	 <p>Prionjivost zadovoljava</p>
		 <p>Prionjivost zadovoljava (pucanje ljepila)</p>
		<p>Prije nanošenja prevlake uzorak bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije</p>
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza i korozije podloge</p>	 <p>Prionjivost zadovoljava</p>
		 <p>Prionjivost zadovoljava</p>
		<p>Prije nanošenja uzorak odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune</p>







## 8.6. Ispitivanje uzoraka u vodenoj otopini 3,5 % NaCl

Ovo ispitivanje je provedeno kako bi se ispitala otpornost uzoraka prema konstantnoj izloženosti vodenoj otopini od 3,5 % NaCl. (slika 23). Na ovaj se način želi simulirati izloženost uronjenih dijelova odobalnih postrojenja korozivnom okolišu morske vode. Ispitivanje je počelo 16.11.2016. u 11 h, te je završeno 11.1.2017 u 9 h (1342 h). Uzorci od Spencercoating-a su dodani sa dva dana zakašnjenja te su ispitivani na identičan način.




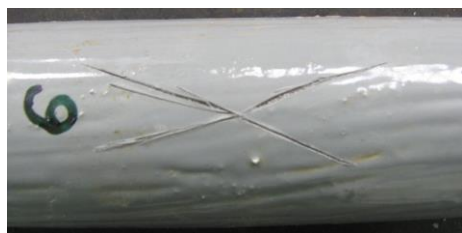


Slika 23. Ispitivanje u vodenoj otopini 3,5 % NaCl





Tablica 16. Rezultati ispitivanja uzoraka u 3,5 % NaCl – STOPAQ

Uzorci od STOPAQ-a		
Prije	Poslije	X-cut ispitivanje
		 Prionjivost zadovoljava
		 Prionjivost zadovoljava
Uzorak 5 prije nanošenja prevlake je bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije Uzorak 6 prije nanošenja je bio odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune		





Tablica 17. Rezultati ispitivanja uzoraka u 3,5 % NaCl – Belzona

Uzorci od Belzona-e		
Prije	Poslije	X-cut ispitivanje
		 Prionjivost zadovoljava
		 Prionjivost zadovoljava
Uzorak 5 prije nanošenja prevlake je bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije Uzorak 6 prije nanošenja je bio odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune		

Tablica 18. Rezultati ispitivanja uzoraka u 3,5 % NaCl - Hempel

Uzorci od Hempel-a		
Prije	Poslije	X-cut ispitivanje
		 <p>Ocjena prionjivosti 4A</p>  <p>Ocjena prionjivosti 2 A</p>
<p>Uzorak 5 prije nanošenja prevlake je bio uronjen u otopinu 3,5% NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije</p> <p>Uzorak 6 prije nanošenja je bio odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune</p>		

Tablica 19. Rezultati ispitivanja uzoraka u 3,5 % NaCl - Spencercoating

Uzorci od Spencercoating-a		
Prije	Poslije	X-cut ispitivanje
		 <p>Prionjivost zadovoljava</p>
		 <p>Prionjivost zadovoljava</p>
<p>Uzorak 5 prije nanošenja prevlake je bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije</p> <p>Uzorak 6 prije nanošenja je bio odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune</p>		

## 8.7. Ispitivanje uzoraka u slanoj komori

Ispitivanje u slanoj komori provedeno je sukladno normi HRN EN ISO 9227. Korištena je slana komora Ascott, model S450 (slika 24.). Kao ispitna otopina koristila se 5 %-tna vodena otopina NaCl pri temperaturi 35 °C. Ispitivanje je počelo 16.11.2016. u 11 h, a završeno je 11.1.2017 u 9 h (1342 h).



Slika 24. Slana komora Ascott model S450, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB

U tablici 20 su prikazani parametri ispitivanja u slanoj komori.






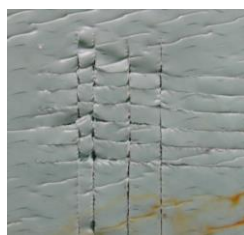
Tablica 20. Parametri ispitivanja u slanoj komori.

Parametri ispitivanja	Uvjeti ispitivanja
Trajanje ispitivanja, h	1342
Temperatura ispitnog prostora, °C	35
Volumen ispitnog prostora, l	450
Temperatura ovlaživača komprimiranog zraka, °C	47
Tlak komprimiranog zraka	0,98
Korištena otopina	NaCl
Koncentracija korištene otopine, %	5
Količina sakupljenog kondezata, ml/80cm/h	2
pH vrijednost kondezata pri 25 ±2 °C	7,14
Provodljivost destilirane vode μS/C+cm pri 25 ±2 °C	≤ 10




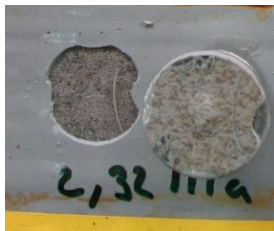


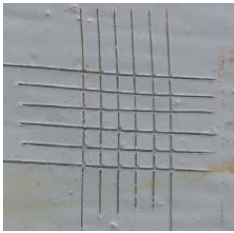



U sljedećim tablicama prikazani su uzorci prije i nakon ispitivanja.







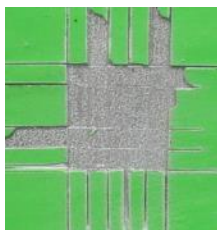

Tablica 21. Rezultati ispitivanja u slanoj komori na prevlake od STOPAQ-a

Uzorci od STOPAQ-a		
Prije	Poslije	Cross-cut i pull off ispitivanje
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza i korozije podloge</p>	 <p>Prionjivost zadovoljava</p> <p>Pull off ispitivanje za prevlake od STOPAQ-a nije provedeno</p>
Prije nanošenja prevlake uzorak bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije		
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza i korozije podloge</p>	 <p>Prionjivost zadovoljava</p> <p>Pull off ispitivanje za prevlake od STOPAQ-a nije provedeno</p>
Prije nanošenja uzorak odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune		

Tablica 22. Rezultati ispitivanja u slanoj komori na prevlake od Belzona-e

Uzorci od Belzona-e		
Prije	Poslije	Cross-cut i pull off ispitivanje
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza</p>	 <p>Prionjivost ne zadovoljava, ocjena 5.</p>
		 <p>Ne zadovoljava, prionjivost ispod 5 MPa..</p>
		Prije nanošenja prevlake uzorak bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza</p>	 <p>Prionjivost zadovoljava</p>
		 <p>Prionjivost zadovoljava</p>
		Prije nanošenja uzorak odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune

Tablica 23. Rezultati ispitivanja u slanoj komori na prevlake od Hempel-a

Uzorci od Hempel-a		
Prije	Poslije	Cross-cut i pull off ispitivanje
	 <p>Došlo je do mjehuranja premaza</p>	 <p>Prionjivost ne zadovoljava, ocijena 5.</p>
		 <p>Ne zadovoljava, prionjivost ispod 5 MPa..</p>
Prije nanošenja prevlake uzorak bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije		
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza</p>	 <p>Prionjivost ne zadovoljava, ocijena 5.</p>
		 <p>Ne zadovoljava, prionjivost ispod 5 MPa.</p>
Prije nanošenja uzorak odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune		



Tablica 24. Rezultati ispitivanja u slanoj komori na prevlake od Spencercoating-a

Uzorci od Spencercoating-a		
Prije	Poslije	Cross-cut i pull off ispitivanje
	 <p>Došlo je do mjehuranja premaza</p>	 <p>Prionjivost ne zadovoljava, ocijena 5.</p>  <p>Ne zadovoljava, prionjivost ispod 5 MPa.</p>
Prije nanošenja prevlake uzorak bio uronjen u otopinu 3,5 % NaCl-a i na površini se nalazili produkti korozije		
	 <p>Nije došlo do mjehuranja premaza</p>	 <p>Prionjivost ne zadovoljava, ocijena 5.</p>  <p>Ne zadovoljava, prionjivost ispod 5 MPa.</p>
Prije nanošenja uzorak odmašćen i očišćen od svih produkata korozije i okujune		



## 8.8. Analiza rezultata ispitivanja

Svi uzorci su pripremljeni prema preporuci i uputama proizvođača i bili su izloženi jednakim uvjetima ispitivanja. Nakon završetka ispitivanja cikličkim uranjanjem, u slanoj komori i konstantnim uranjanjem uzorci su pregledani vizualno. Na uzorku 1 od proizvođača Hempel i uzorku 1 od proizvođača Spencercoating pojavili su se mjehurići (*blistering*). Prema normi ISO 4628-1 na uzorku 1 od Hempela mjehuravost je bila 2 – 2 (S4), dok kod uzorka 1 od Spencercoating-a mjehuravost je bila 4 – 4 (S3). Kod ostalih uzoraka nisu se pojavili znakovi mjehurića.

Prema normi ISO 12944-6 ocjenjena je vrijednost korozije po urezu. Korozija po urezu primijećena je kod uzoraka 1, 2, 3 od proizvođača Belzona i na uzorku 4 od proizvođača Hempel. Korozija po urezu se mjerila po jednadžbi 4:

$$M = \frac{C-W}{2} \quad (4)$$

Gdje je  $C$  korozija po uzorku, a  $W$  širina zareza. U tablici 25 prikazani su rezultati ispitivanja. Sukladno normi ISO 12944-6 dozvoljena vrijednost korozije po urezu je 1 mm.

Tablica 25. Vrijednost korozije po urezu

Uzorak	Vrijednost korozije po urezu
1-Belzona	2,375 mm
2-Belzona	2,33 mm
3-Belzona	0,95 mm
4-Hempel	1,875 mm

Prevlake su pokazale jako lošu prionjivost na slanu površinu, što se može vidjeti iz rezultata Cross-cut i Pull-off ispitivanja. Prevlake na uzorcima 3 i 4 od proizvođača Belzona, uzorcima 2 i 4 od proizvođača Spencercoating i na uzorcima od proizvođača Stopaq pokazale su ipak nešto bolju prionjivost od ostalih prevlaka.

Prevlake od proizvođača Stopaq pokazale su se kao najpouzdanije i s najmanje nepravilnosti nakon svih ispitivanja i mjerenja. Slana površina uzorka nije značajno utjecala na prionjivost ovih prevlaka kao ni na njihovu antikorozivnu zaštitu.

## 9. Zaključak

Premazi koji se koriste prilikom zaštite odobalnih postrojena moraju imati slabu propusnost za vodu, te dobru prionjivost u morskom okolišu. Kako se odobalna postrojenja nalaze u agresivnom okolišu što se tiče korozije, postavljaju se veliki zahtjevi na prevlake koje štite ovu vrstu postrojenja. Prevlake su izložene različitim zonama djelovanja okoliša (velike količine klorida, stalno kvašenje, ultraljubičasto zračenje i mnogi drugi faktori) koji utječu na pojavu korozije. Za zaštitu odobalnih postrojenja najčešće se koriste organske prevlake na bazi otapala, koje kad se nanose u kontroliranim uvjetima (laboratorij ili radionice) uglavnom zadovoljavaju zahtjeve koji se postavljaju za njih u morskom okolišu.

Problem korištenja prevlaka kod odobalnih postrojenja javlja se prilikom nanošenja prevlaka na terenu u uvjetima slane atmosfere i gdje je vrijeme sušenja prevlaka vremenski ograničeno zbog djelovanja plime i oseke i drugih faktora. Prevlake nanese u takvim uvjetima obično imaju kraći vijek trajanja od prevlaka nanesenih u laboratorijskim ili radioničkim uvjetima.

Na temelju rezultata dobivenih ubrzanim laboratorijskim ispitivanjima utvrđeno je da su prevlake od proizvođača STOPAQ jedine otporne na slanu površinu uzorka, dok su ostale prevlake pokazale lošu otpornost, te je kod njih došlo do gubitka prionjivosti.

Kako bi se poboljšala zaštitna svojstva prevlaka prilikom terenskog nanošenja, potrebna su dodatna istraživanja i ispitivanja, jer bi se na taj način uštedila ogromna sredstva koja se troše za reparaturno nanošenje prevlaka.

## Literatura

- [1] S. Remesh, Corrosion Control for Offshore Structures Cathodic Protection and High-Efficiency Coating, Oxford, 2014.
- [2] INAgip, Arhiva.
- [3] N. Weihnacht, Rački; Boje i lakovi-jučer, danas sutra, Zagreb: Chromos boje i lakovi d.d, 2004.
- [4] P. Roberge, Handbook of Corrosion Engineering, McGraw Hill, 1999.
- [5] <http://www.processindustryforum.com/article/hobbs-valve-provides-solution-galvanic-corrosion-duplex-butterfly-valves-offshore-platforms> (dostupno 26.11. 2016).
- [6] Kondić V., Samardić I. i Horvat M., Napetosna korozija, Slavonski Brod: Strojarski fakultet, 2013.
- [7] L. J., Metals Handbook Corrosion Volume 13, Colorado School of Mines: ASM International, 1992.
- [8] K. A., Marine and Offshore Corrosion, Butterworth & Co, 1985.
- [9] Huljev B., Primjena hlapljivih inhibitora korozije u maloj brodogradnji, Zagreb: Diplomski rad, FSB, 2008.
- [10] K. M., Korozijski procesi, oštećenja i suvremeni sustavi premaza za offshore vjetroelektrane, Zagreb: Diplomski rad, FSB, 2014.
- [11] O. Ø. Knudsen i A. Bjørgum , Corrosion protection of offshore wind turbines – long life protective coatings, Trondheim, Norway : SINTEF Materials and Chemistry.
- [12] Hempel, »Odabir odgovarajućeg sustava premaza, smjernice za zaštitu u skladu sa ISO 12944«.
- [13] A. Pavić, Određivanje elektrokemijskog potencijala Mg anoda, Zagreb: FSB, Završni rad, 2013.
- [14] B. Jarić i A. Rešetić, Korozija, elektrokemijske osnove i katodna zaštita, Zagreb: Korexpert, 2013.
- [15] J. Korb i L. David, ASM Handbook VOLUME 12 Corrosion, ASM International, 1992.
- [16] I. Juraga, V. Alar i I. Stojanović, Korozija i zaštita premazima, Zagreb: FSB, 2014.

- [17] D. Stephen, Cramer i C. S. Bernard, ASM Handbook, Corrosion: Environments and Industries, ASM International, 2006.
- [18] D. Županić, Zaštita od korozije priobalnih vjetroelektrana, Zagreb: Diplomski rad; FSB, 2015.
- [19] T. Bosec, Zaštitna svojstva epoksidnih prevlaka na čeliku u alkalnim otopinama, Zagreb: Diplomski rad, FSB, 2012.
- [20] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović i V. Šimunović, Problemi korozije u području zone zapljuskivanja mora i suvremene mogućnosti zaštite, Zagreb: FSB, 2015.
- [21] <http://www.belzona.com/en/products/5000/5831.aspx> (dostupno 10.12.2016).
- [22] »Acothane mastic standard grade,« Spencercoatings, Upute za primjenu 2016.
- [23] S. Martinez i I. Štern , »Korozija i zaštita – eksperimentalne metode«, Hinus, Zagreb, 1999.